



266

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ الكويت

إبداعات النار

● تاريخ الكيمياء المثير من السيمياء إلى العصر الذري

تأليف: كاتي كوب
هارولد جولد وايت
ترجمة: د. فتح الله الشيخ
مراجعة: شوقي جلال



سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978 بإشراف أحمد مشاري العدواني 1923 ـ 1990

266

إبداعات النار

تاريخ الكيمياء المثير من السيمياء ألى العصر الذري

تأليف: **كاتي كوب**

هارولد جولد وايت

ترجمة: **د. فتح الله الشيخ**

مراجعة: **شوقي جلال**



المحتوى

المحتوى
المحتوى
المحتوى

مقدمة: 7

الفصل الأول:
من كيميائي ما قبل التاريخ إلى الفيلسوف الكيميائي 13

الفصل الثاني:
الإسكندرية والسيمياء 39

الفصل الثالث:
من روما إلى بغداد 65

الفصل الرابع:
السيمياء تنتقل من الشرق إلى الغرب 83

الفصل الخامس:
تطور السيمياء الأوروبية 105

الفصل السادس:
فلاسفة النار 121

الفصل السابع:
البحث عن النظام وعن الفلوجستين 141

الفصل الثامن:
الثورة 165

الفصل التاسع:
بعد الطوفان 185

الفصل العاشر:
الكيميائي المحترف 201

المحتوى

الفصل الحادي:
الديناميكا الحرارية: حرارة المادة 229

الفصل الثاني عشر:
الكيمياء العضوية : النهوض من الوحل 253

الفصل الثالث عشر:
العناصر غير العضوية والأيوناتية 277

الفصل الرابع عشر:
الكيمياء التحليلية والصناعية والحيوية 305

الفصل الخامس عشر:
الكيمياء الكمية: جوف الحيوان 333

الفصل السادس عشر:
والبتروتينات: حلقات من سلسلة 363

الفصل السابع عشر:
مواد وطرق جديدة 387

الفصل الثامن عشر:
الكيناتيكا الكيميائية: ازدهار أم اندحار 407

الفصل التاسع عشر:
الكيمياء الاشعاعية: انشطار دالتون 423

الفصل العشرون:
ومازال الأفضل لم يأت بعد 449

ببليوجرافيا 467

مقدمه

تاريخ الكيمياء هو قصة السعي البشري، وهو سعي شارد غريب الأطوار مثل الطبيعة البشرية نفسها. كان التقدم يأتي في نوبات متقطعة، وكان يأتي من جميع أنحاء العالم.

وكان من الضروري أن نضع بعض النظام لأن المدى الذي يغطيه هذا التاريخ كبير (حوالى 100 ألف سنة)، وقد قسمنا المتن بذلك إلى ثلاثة أقسام متمايزة بعضها عن بعض في الزمن، وإن كانت أقساما كبرى: القسم الأول (الفصول 1ـ7) ويغطي الفترة من مائة ألف عام قبل العصر المكتوب، وحتى القرن الثامن عشر، وفيه نعرض لخلفية الثورة الكيميائية. والقسم الثاني (الفصول 8 ـ14) ويغطي الفترة من أواخر القرن الثامن عشر وحتى الحرب العالمية الأولى، ويتعرض للثورة الكيميائية وما تبعها. والقسم الثالث (الفصول 15 ـ 20) ويغطي الفترة من الحرب العالمية الأولى وحتى 1950، ويقدم الثورة الكيميائية وتوابعها، كما يقدم إشارات لثورات قادمة.

كان هناك دائما رافدان لتيار الكيمياء: التجربة والنظرية. غير أن المناهج التجريبية النسقية لم تكن مستخدمة بانتظام قبل القرن السابع عشر، بينما لم تتطور النظريات الكمية إلا بحلول القرن الثامن عشر. ويمكن أن ندفع بأن الكيمياء الحديثة لم تبدأ كعلم إلا مع الثورة الكيميائية في القرن

الثامن عشر، إلا أننا نقول إن التجارب الأولى قام بها الحرفيون، بينما اقترح الفلاسفة النظريات الأولى. ولا يمكن فهم الثورة إلا إذا عرفنا ما الذي تثور ضده أو تتمرد عليه. ولذا فإننا سنبدأ روايتنا بأعمال المعالجين والفنانين وحائكي الثياب والعاملين بالفلزات، وسنبين كيف استخدم الفلاسفة مشاهداتهم للحرفيين ـ وسواء أكانت واضحة أم لا ـ ليصنعوا أوليات النظريات الكيميائية. وقد أصبحت واحدة من هذه النظريات ـ نظرية العناصر الأربعة (النار والماء والتربة والهواء) لأرسطو ـ مركزا للجهود التجريبية على مدى ما يقرب من ألفي عام.

وثمة سببان لبقائها هذه الفترة الطويلة. كان للنظرية إغراء حدسي: فقد كان من المفترض أن العناصر الأربعة موجودة بنسب خلط معينة في جميع المواد. وبالفعل، عندما كان الخشب يحترق، كان من الممكن مشاهدة الهواء (الدخان) يرتفع إلى أعلى، والماء (النسغ) يتقاطر، والتربة (الرماد) تتكون، والنار (اللهب) تتصاعد. كانت النظرية أيضا واعدة: فلو كانت جميع المواد مكونة من خليط من العناصر، إذن من الممكن تغيير نسب هذه العناصر في إحدى المواد لتخلق مادة أخرى ـ أي إجراء تحويل. وكان أكثر عمليات التحويل جذبا للاهتمام هي تحويل الفلزات الأساسية إلى ذهب ـ وقد تمت ملاحقة هذا التحويل بجهد لايكل منذ الألفية الأولى قبل الميلاد، وحتى ألفي عام تقريبا بعد الميلاد.

شكلت جهود السيميائيين ـ الذين قاموا باختبار نظرية تحويل العناصر ـ تشعبا في تطور الكيمياء (كان التيار الرئيسي هو أن تراكم الحقائق الكيميائية في تتابع وراء بعضها البعض بواسطة الحرفيين سوف يؤدي إلى سقوط النظرية). لكنه كان تشعبا مهما. قام السيميائيون بتطوير تقنيات لها تطبيقات في الكيمياء العملية، وأثروا في الصورة العامة لمن يمارسون الكيمياء التجريبية، فصارت هذه الصورة مترافقة مع الغموض والسحر والتصوف والخداع، وحتى عندما تحول السيميائيون عن إنتاج الذهب إلى أمور أكثر عطاء للغير مثل إنتاج الأدوية (فيما نسميه الإصلاح الكيميائي في القرن السادس عشر)، فإن صورة الكيمياء استغرقت بعض الوقت لتتغير. وبهذا الشكل، حقق هذا التحول في الاتجاه ـ الذي تزامن مع الثورة العلمية في القرن السابع عشر ـ احتراما من نوع جديد للتجريب الكيميائي،

وألهم تحولات جادة أنتجت الثورة الكيميائية.

وكانت الثورة الكيميائية التي قادها الكيميائي الفرنسي لافوازييه، ثورة ضد الغموض وعدم الدقة في الفكر والتجريب. وعندما كان الدخان يدعم بشكل غامض فكرة أن الهواء عنصر، كان المفكرون المدققون يتساءلون عما إذا كان الدخان هو العنصر النقي للهواء، وإذا كان كذلك، فلماذا يكتسب الهواء أحيانا خواص مختلفة ومقدرة متباينة على التفاعل؟

وعندما كانت خفة وزن الرماد تدعم بغموض فكرة أن شيئا ما يغادر الخشب في أثناء التسخين، كان المفكرون المدققون يتساءلون: لماذا تكتسب الفلزات زيادة في الوزن إذا سخنت؟ وقد لفظت الثورة الكيميائية ـ بشدة ونهائيا ـ السحر كتفسير، والسلطة كدليل، والتخمينات غير القابلة للتحقق منها كنظرية كيميائية. وقد أرست الثورة الكيميائية ـ بشكل قوي ونهائي ـ الحاجة إلى القياسات الكمية الدقيقة في التحليل التجريبي، والحاجة إلى اللغة الواضحة النقية في التفكير التحليلي، والحاجة إلى النتائج التجريبية القابلة للتحقق والتثبت منها لدعم النظرية الكيميائية.

وأصبحت نتيجة رفض العناصر الأربعة لأرسطو ظهور العشرات الأخرى. وقد استخدم الكيميائيون أدواتهم من الأجهزة الجديدة وأفكارهم ليكتشفوا العناصر الجديدة والقوانين التي تحكم تفاعلاتها. وصارت الكيمياء علما، والتفاعلات يمكن التحكم فيها، وأصبح الإنتاج الكيميائي صناعة والكيميائيون محترفين.

ومع كل هذا التقدم، ظلت هناك فجوة كبيرة في النظرية: ما القوى التي تمسك بالعناصر معا؟ فسرت النظريات الكهروكيميائية، في القرن التاسع عشر، كيف تمسك الشحنات المتضادة بعض العناصر ببعضها الآخر، لكن فشلت هذه النظريات ـ كما فشلت كل نظرية أخرى ـ في تفسير وجود أبسط مركب على الإطلاق: الهيدروجين الجزيئي، الذي يتكون من اتحاد ذرتين متماثلتين من الهيدروجين. وكان من المستحيل من دون تفسير لذلك أن يستطيع أحد التنبؤ بشيء، اللهم إلا شيئا واحدا هو: أن الأمر يتطلب ثورة أخرى. وقد جاءت هذه الثورة في هذه المرة أسرع كثيرا. جاءت مع القرن الجديد، القرن العشرين: ثورة الكم «الكوانطا».

ونظرية الكم أساس ثورة الكم، هي نتاج تزاوج جهود الفيزيائيين

والكيميائيين لفهم النشاط الإشعاعي والمقدرة على التفاعل وبنية الذرة. وكان رذرفورد، مؤسس نموذج الذرة على شكل الكوكب السيار، فيزيائيا تبعا لنشأته، لكنه حاز جائزة نوبل في الكيمياء. وكان لويس الكيميائي، يملك من البصيرة (الناتجة عن المعلومات المستفيضة عن التفاعلات الكيميائية) ما جعله يقترح الرباط ثنائي الإلكترون ـ والذي أسس الكيميائيون عليه نظرية الكم للرباط الكيميائي. وبدأ انفجار المعلومات التجريبية والفهم النظري قبل ثورة الكم ـ لكنه اكتسب بها تسارعا ـ وأدى إلى انقسام الكيمياء إلى فروع. وأصبحت الكيمياء الحيوية، والكيمياء العضوية، والكيمياء غير العضوية، والكيمياء التحليلية، والكيمياء الفيزيائية، مجالات مستقلة على الرغم من أن تفاعلها معا كان أساسيا لتقدم كل منها.

وكان التقدم هو ما أنجزه الكيميائيون. فنحن نستطيع اليوم أن نتنبأ بخواص المواد حتى قبل أن نصنعها، ونفترض أي المواد كان موجودا لحظة تولد الحياة نفسها. لكن ما الذي يخبئه الأفق في الكيمياء؟ من الصعب التكهن بذلك. فمن المؤكد أن أرسطو كان سيفاجأ بنتائج لافوازييه، وكان لافوازييه ستذهله استنتاجات لويس. وهكذا، بالتأكيد سنذهل ـ ونسعد ـ بالكيمياء القادمة.

القسم الأول

1

من ١٠٠ ألف عام حتى ٣٠٠ (ق.م)
من كيميائي ما قبل التاريخ إلى الفيلسوف الكيميائي: البذور

- التقنية الكيميائية في عصر حجري
- الكيمياء وجذور التقنية الحضارية
- الميتالورجيا (تشكيل المعادن)
- المركبات الكيميائية
- الحضارة الإغريقية المبكرة
- الفلاسفة اليونانيون

هناك من يتصورون أن أناس ما قبل التاريخ أشباه آدميين يسيرون مطأطئي الرؤوس وينخرون كالخنازير وينبت شعرهم في أماكن غير مألوفة. ولا شك في أن هناك أيضا من يعترضون على العنوان الذي يبدأ به هذا الفصل. وكلمة ما قبل التاريخ تدل على ما قبل السجلات المكتوبة. فإذا كنا نعرف العلم بأنه التسجيل المنظم للظواهر المشاهدة وتفسيرها، فإن ما قبل التاريخ هو ما قبل العلم. وتعبير «كيميائي ما قبل التاريخ» يجمع بين لفظين متناقضين. وحتى نبدأ قصتنا سيكون علينا أن نقفز إلى الألفية الأولى قبل الميلاد. ولو أخذنا بهذا الرأي لكانت الخسارة كبيرة: ذلك لأنه بداية لم تكن تحتاج إلى القلم وورق البردي اللازمين

لبداية فن الكيمياء. فشعوب ما قبل التاريخ كانت تلقي بقطع الصخر الصغيرة في النار وتتأمل تغيرات الألوان الناتجة عن ذلك، وكانت تلك ممارسة حقيقية للكيمياء. وقد جمعوا هم وذريتهم المتحضرة ذخيرة من المواد الكيميائية والتقنيات والمشاهدات التي بنيت عليها التطورات اللاحقة. واستخدموا الطلاء وسيطروا على النار وصنعوا قدورا من الفخار، وجمعوا الفلزات وصنعوها، ومارسوا فنون المداواة والعلاج. وسنتوسع هنا في بعض هذه الإنجازات لأن لها طبيعة كيميائية، بمعنى أنها تتضمن مشاهدة خواص المواد وما يحدث لها عندما تتفاعل.

التقنية الكيميائية في عصر حجري

توحي الشواهد الحالية (مع بعض التحفظات) بأن الإنسان الحديث قد نشأ في أفريقيا في شكل إنسان كرومانيون منذ ما يقرب من 100 ألف عام ق.م. وبمضي الوقت حل ذلك الإنسان محل إنسان نياندرتال، ودالي، ونجاندونج [1]. ومن ناحية التشريح والسلوك واللغة، فإنه يمكن القول إن الكرومانيونيين اكتمل تطورهم منذ 35 ألف عام، بحيث يمكن للكرومانيوني أن يتعلم قيادة الطائرة ويسير بجوارنا في الشارع دون أن يميزه أحد[2].

يمتد العصر الحجري القديم حتى 8 آلاف سنة ق.م، وكان أناس ذلك العصر من الرُّحل جامعي الغذاء الذين تعلموا استخدام اللغة والسيطرة على النار وتشكيل أدوات من الأحجار والعظام. وهناك دلائل على أنه خلال الفترة المتأخرة من العصر الحجري القديم قام الناس بطهي الطعام، وهو ما يمكن بسهولة أن يعدَّ أول عملية كيميائية. وتستخدم الحرارة في عملية الطهي لكسر الترابط الكيميائي في الخضراوات والألياف العضلية وإنجاز نوع من الهضم المسبق الذي يرفع بعض العبء عن كاهل الأسنان والمعدة والأمعاء.

ومن المعروف أيضا أن إنسان العصر الحجري القديم كان يعتني بالمرضى ويمارس شكلا بدائيا من الطب، بدليل وجود جماجم بها جروح عولجت. وكانت عملية دفن الأدوات والأطعمة المختلفة مع جثث الموتى تُفسَّر على أساس ديني، لكن وبالسهولة نفسها فإنها يحتمل أن تكون محاولة مبكرة لتطبيق بعض الإجراءات الصحية. فدفن ممتلكات الميت (وبالأخص آخر

الأشياء التي أكلها) يمكن أن يكون إجراء فعالا لمنع انتشار الأمراض. ومن الصعب التثبت من امتلاك إنسان العصر الحجري القديم لأعشاب المداواة أو لمخزون من الأدوية، لأن الأعشاب ـ على عكس الأشياء المصنعة من الأحجار ـ تتحلل ولا يتبقى منها ما يدل على استخدمها. ومع ذلك، فقد تبين في عصرنا الحالي أن الحضارات المعزولة ما زالت تمارس ما يمكن تسميته بتقنية العصر الحجري. وتعرف هذه الحضارت الأعشاب وتستخدمها كمطهرات ومسكنات للألم. وما تجهيز المواد لاستخدامها في العلاج إلا شكل من أشكال الكيمياء التي نجدها في كل عصر من تاريخنا.

وتبين رسوم الكهوف التي يمتد تاريخها إلى 20ألف سنة مضت ـ والتي يحتمل أن تكون قد حفظت بواسطة الأملاح المترسبة من مياه المطر التي تسربت إلى الكهف ـ أن كرومانيوني العصر الحجري القديم قد مارس فن الرسم. وربما كان هذا الفن على شكل سحر سرّي يقلد نتائج مرغوبة من أجل أن تتحقق هذه النتائج[3]، لأن حيوانات اللعب ونجاحات الصيد كانت من موضوعات هذا الفن، كما كانت كذلك النساء الممتلئات الجسم وذوات الأثداء الضخمة.

وكانت المواد المستخدمة لإبداع الرسوم هي الفحم والقطع المدببة من الصلصال الملون. ويكتسب الصلصال اللون الأحمر من كبريتيد الزئبق (الزنجفر) واللون الأحمر والأصفر من الأكاسيد المختلفة للحديد، واللون البني من أكسيد المنجنيز. وتظهر الأطباق الموجودة بجوار الرسوم أن الصبغات كانت تمزج بالدهن لسهولة الاستخدام.

بدأ العصر الحجري الوسيط بانتهاء آخر عصر جليدي قبل الميلاد بحوالي 8 آلاف سنة. ويقال إن انسان ذلك العصر روّض الكلب وحفر جذوع الشجر لصنع قوارب بدائية غير متقنة. كما قام بصنع أول فخار وذلك بتحميص الصلصال في الشمس، وهي عملية كيميائية تتحول فيها السيليكات اللبنة المميتة شبه السائلة إلى نسيج شبكي قوي الترابط. وقد ظهر الفخار في اليابان مبكرا سنة 10 آلاف ق.م، أما في الأمريكتين فقد ظهر حوالى سنة 5 آلاف سنة ق.م.

وقد استخدم إنسان العصر الحجري الوسيط الرسم، وكما تبين جمجمتان بشريتان ملونتان بالزنجفر وموجودتان في قبور يرجع تاريخها

إلـى ذلـك العصـر، فإن الرسم والتلوين قد استـخدما فـي تـزيـن الجسـم البشري.

وللزنجفر لون أحمر داكن ومن المعتقد أن الجماجم الحمراء ترمز للدم أو لمعانٍ أخرى سرية عميقة المغزى. لكن الزنجفر يعمل أيضا كعلاج فعال ضد القمل والصئبان ـ الذي يستوطن الشعر ـ وقد تكون تغطية الجمجمة بالزنجفر إشارة حب من بعض الأصدقاء أو الأقارب الراغبين في إسباغ شيء من السكينة والتعزية على الراحل بعد مماته[4].

تعد الفترة من 6 آلاف إلى 3 آلاف سنة ق.م هي العصر الحجري الجديد، وقد تعلم الناس خلال هذا العصر صناعة الغذاء وقدح النار من الاحتكاك فيما يمكن أن يكون أول تفاعل كيميائي تتم السيطرة عليه.

وقد دجنوا الحيوانات واخترعوا المحراث والعجلة والشراع. وتعلموا كيف يغزلون وينسجون ويصنعون قمائن الفخار النارية. وفيما بين السنوات 6 آلاف 7 آلاف ق.م. كانت تشكل مادة جديدة بواسطة الطرق هي النحاس[5]. ومكنت هذه المادة الناس من صنع أدوات جديدة ساعدت ـ مع تطور الزراعة ـ في نمو المجتمعات الزراعية في مواقع ثابتة. وأصبح الكثيرون من جامعي الثمار الرحَّل يعملون في الأرض. وفي لحظة ما حوالى 4 آلاف سنة ق.م. بزغت الحضارة.

الكيمياء وجذور التقنية الحضارية

مع حلول الحضارة نضجت التقنية الكيميائية وأصبح من الممكن تطوير تقنيات تتطلب بنى خاصة دائمة (مثل الأفران لصهر الفلزات)، كما أصبح من الممكن تسجيل العمليات الكيميائية وتكرارها وتحسينها. ومن المصنوعات التي تبقت حتى اليوم يمكن أن نكون ـ خطوة خطوة ـ صورة عن الطرق المستخدمة في ذلك الوقت. وأطول هذه المصنوعات عمرا هي الفلزات، والميتالورجيا (تشكيل المعادن) هي أول تقنية كيميائية يمكن إعادة بناء تاريخها بشيء من الثقة.

الميتالورجيا (تشكيل المعادن)

كانت الفلزات تستخدم عملياً بواسطة جميع الحضارات حتى قبل أن

تستخدم تقنيات أخرى بدائية في الظاهر مثل العجلة. لكن معظم الفلزات تتفاعل مع الأكسجين والكبريت والهالوجينات ـ مثل الكلور والفلور واليود ـ وتوجد في الطبيعة كخامات، أي مزيج معقد من الأملاح والسيليكات مثل الفلسبار والبيريت والبوكسيت. لكن الفضة والذهب من جهة أخرى لا تتفاعل بشكل واضح، وهي بذلك يمكن أن تتواجد في الطبيعة على شكل فلز نقي (مثل شذرات الذهب التي كانت موجود في مجرى الأنهار في أثناء جميع الذهب في الولايات المتحدة الأمريكية العام 1849). ويمكن أن يوجد النحاس على شكل رواسب من الفلز النقي إلا أنه على الأغلب موجود على شكل خام. ويمكن أن تصنَّع هذه الفلزات الثلاثة بتقنيات بسيطة مثل الطرق، وأن تستخرج بتقنيات سهلة مثل الجمع.

النحاس والفضة والذهب

ربما كان النحاس أول فلز من هذه الفلزات يُجمع وذلك لسعة انتشاره بالنسبة للفلزات الأخرى. وعثر على حلي مصنوعة من مشغولات نحاسية في شمال العراق، وهي تضرب في التاريخ البعيد حتى سنة 9 آلاف ق.م. تقريبا[6]، وكانت على الأرجح تستخدم في الزينة. وتبين أن مدافن السكان الأصليين المحصنة في أمريكا الشمالية والتي يرجع تاريخها إلى العام 2000 (ق.م). تحتوي على رؤوس حراب وأزاميل وأساور من النحاس. وكان المستوطنون في الإكوادور قبل العصر الكولمبي يشكلون النحاس النقي بالطرق على الساخن، وصنعوا فؤوسا صغيرة ونواقيس وإبر خياطة نحاسية[7]. ويظهر النحاس كذلك في البقايا المبكرة للمستوطنات في مصر القديمة وبلاد ما بين النهرين والهند الصينية.

وسبائك الذهب لينة نسبيا (ومن هنا كان الاختبار الأسطوري للعملات الذهبية عن طريق العض) ويمكن طرقها مع بعضها لتشكل ألواحا. وقد جعلت هذه الخاصية الذهب مرغوبا فيه كمادة للزينة بالإضافة للون، ولكنه كان غير ذي فائدة لأي شيء آخر. وتطور حديثا فن استخدام الذهب في صناعة الوصلات الكهربية المقاومة للصدأ وفي تكسية الأسنان. ويجعل هذا الأمر من كم المعاناة البشرية التي بذلت للبحث عن الذهب شيئا مثيرا للضحك لسخافته. وفي مصر كان الذهب يستخرج ويصنَّع بواسطة العبيد.

وقد توجد الفضة مسبوكة مع الذهب مكونة مادة تسمى إلكتروم. وهناك طرق عدة يمكن استخدامها لفصل الفضة من هذه السبيكة واسترجاع الذهب. لكن من المرجح أن تكون أقدم الطرق هي تسخين الإلكتروم في بوتقة مع الملح العادي ـ كلوريد الصوديوم. ومع الوقت والحرارة وتكرار المعالجة تتحول الفضة إلى كلوريد فضة وتخرج مع الخبث وهو طبقة الشوائب التي تطفو فوق الفلز المصهور في أثناء العملية. ومع ذلك لم تكن الفضة منتجا غير مرغوب فيه دائما، ففي مصر وفي الفترة ما بين القرن الثالث عشر والخامس عشر قبل الميلاد كانت الفضة أكثر ندرة وأغلى من الذهب[8]. بحلول العام 3 آلاف ق.م. ربما يكون السومريون قد اكتشفوا في أثناء تسخين النحاس لجعله أكثر طواعية، أن مزيدا من النحاس يمكن استرجاعه من النار إذا سُخِّن الفلز مع أنواع معينة من الأتربة والأحجار ـ أي مع أكاسيد معينة. كانت هذه الأتربة أو الأكاسيد هي خامة الفلز، والعملية التي اكتشفوها ـ الصهر ـ اختزلت أملاح الفلز إلى الفلز النقي بفعل الكربون الموجود في فحم النار. وتعرف عملية تغيير أملاح الفلز إلى الفلز النقي باسم الاختزال لأن الفلز من دون الأكسجين أو الهالوجين أو الكبريت المصاحبة له في أملاحه يزن أقل من الخام. وأخيرا تعلم صنَّاع الفلزات كيف يميزون الخامات المختلفة الحاملة للفلزات وذلك باللون والبنية والوزن ولون اللهب والرائحة المنبعثة عند التسخين (مثل رائحة الثوم الخاصة بخامات الزرنيخ)، وكان يمكنهم إنتاج المواد المرغوبة عند الطلب.

البرونز

خلط السومريون كذلك النحاس بالقصدير ليصنعوا مادة جديدة هي البرونز. ووجدوا أن المادة الجديدة أسهل نسبيا في السبك وأصلب كثيرا من النحاس وحده. وأمكن استخدام البرونز في صناعة أدوات أطول عمرا مثل المعازق والمجارف والسكاكين التي تحتفظ بحدة سلاحها لفترات أطول. وكان اكتشاف البرونز ذا أهمية خاصة حتى أن عصرا بأكمله من التاريخ، هو العصر البرونزي اكتسب اسمه من استخدامه. غيرأن هذا المصطلح فقد التحديد التاريخي لأن الحضارات المختلفة كانت قد اكتشفت استخدام البرونز في فترات زمنية جد مختلفة. وبعض الحضارات لا تعرف العصر

البرونزي كما هو الحال في فنلندا وشمال روسيا وبولينيزيا ووسط أفريقيا وجنوب الهند وأمريكا الشمالية وأستراليا واليابان. فقد قفزت هذه الحضارات مباشرة من الحجر إلى الحديد. ويصل تاريخ الأشياء البرونزية المصرية إلى ما يقرب من 3 آلاف سنة ق.م. ولكي يقوم المصريون القدماء بصنع البرونز فإنهم كانوا يستوردون خام القصدير من بلاد فارس على الأغلب. كما كان يقوم الحرفيون من بلاد ما بين النهرين أيضا باستيراد القصدير. وكان يمكن تصنيع البرونز من النحاس والزرنيخ إذا أصبح القصدير نادرا. لكن هذه الصناعة قد ماتت (كانت الأبخرة الناتجة عن العملية تسبب التسمم بالزرنيخ على الأرجح، لذا فمن المحتمل أن يكون الفنيون هم الذين اختفوا وليس الفن). ومع البرونز بدأت تخرج للوجود صورة من علاقات تجارية متشابكة في البحر المتوسط. والحقيقة هناك بعض الأدلة على دخول الآشوريين في بعض أعمال المقاولات الماهرة والتي يمكن وصفها بأنها غير أخلاقية. كانوا يشكلون مجتمعا قاسيا متجمد القلب من المحاربين من الجنسين (دون تمييز) الذين هزموا سكان ما بين النهرين ـ ميزوبوتاميا (العراق الآن) حوالى سنة 1200 ق.م. ويبدو أنهم كانوا يخدعون الأتراك القدماء ويوهمونهم بأن أقرب مصدر للقصدير يقع في هندوكوش (في أفغانستان حاليا)، وعليه كانوا يطالبون الأتراك بأسعار باهظة بينما كان الفلز يأتي من منجم على السواحل التركية[9].

وقد لوحظ بعد ذلك أن عملية صهر النحاس كانت تسير بصورة أفضل إذا أضيفت أتربة معينة تحتوي على أكسيد الحديد. وقد تكون مجرد المصادفة هي التي أوجدت أكسيد الحديد ضمن خام النحاس لأن هذه الأتربة كانت توجد في الطبقة العليا من رواسب كبريتيد النحاس التي تعرضت للتعرية الجوية. قام أكسيد الحديد بتحسين عملية صهر النحاس لأنه كان يعمل كصهور: مادة تساعد في إزالة الشوائب بالاتحاد معها لتكوين قشرة طافية أو خبث بينما كانت تتكون قطع من الحديد كمنتج جانبي.

الحديد

كان الحديد معروفا في مصر ربما منذ السنة 3 آلاف ق.م. لكن اسمه كان فلز السماء، وهو ما يعكس كون أول عينات منه من مصدر نيزكي. وكان

الحديد بذلك يعد شيئا غير مألوف أكثر منه بضاعة أو سلعة. ومع ذلك فإن عينات من الحديد المحضر بالصهر (من خام الحديد وليس من النيازك) ربما كانت تنتج في بلاد ما بين النهرين وشمال سوريا السنة 3 آلاف ق.م. وكان هناك مسبك للحديد يعمل في جنوب أفريقيا العام ...2 (ق.م)(10).

كان أول حديد تم تحضيره بالصهر على شكل فطيرة من كتلة إسفنجية ضمن خبث شبه سائل، لأن درجة حرارة انصهار الحديد الفعلية هي 1500 مئوية بينما كانت درجات الحرارة التي يمكن الوصول إليها بأفران الفحم البدائية لا تزيد على 1200 مئوية. وكان هذا المنتج الذي سُمّي فيما بعد باسم نورة(*) يتطلب تكرار التسخين والطرق على الساخن للتخلص من الخبث. وتم التوصل إلى سقي الحديد بتكرار الطرق على البارد مع إعادة التسخين.

وبمضي الوقت أخذ العمال يزيدون من الوقود واستخدموا منافيخ ضخمة لرفع درجة حرارة الأفران. ومع ذلك فإن الحديد النقي كان ألين من البرونز ويعتبر مادة رديئة المستوى في صناعة السلاح وبعض التطبيقات الأخرى التي تتطلب عمرا أطول. وكان مازال قيد الغيب أن تسخين الحديد في وجود الكربون بكميات صغيرة جدا ليتسرب داخل بنية الحديد فيزيد من قوة المادة بشكل واضح.

وتسمى عملية تسخين الحديد في وجود الكربون والذي يأتي عادة من الفحم المستخدم في النار بالكربنة. وكان الأطباء الهندوس من أوائل من اكتشف الحديد المكربن، أو الصلب، واستخدموه في الأدوات الجراحية. وفي الصين كانت الكربنة تتم مباشرة باستخدام خام للحديد غني بالكربون. واكتشفت هذه التقنية كذلك قبائل هندو ـ أوروبية غامضة تسمى الهكسوس. ووظفوا هذه التقنية مباشرة لصنع سلاح أفضل، استطاعوا اجتياح آسيا الصغرى، وفي العام 1200 ق.م. طرقوا أبواب مصر مهددين.

المركبات الكيميائية

كان الكيميائيون العاملون قديما يمتلكون مخزونا معقولا من المركبات الكيميائية التي تمكنوا من استخدامها في مختلف العمليات بالإضافة إلى

(*) النورة كتلة الحديد قبل التشكيل.

الفلزات النقية وسبائكها. وكما في حالة المواد العلاجية فإن هذه المركبات الكيميائية لم تصل إلينا بحالها البكر التي كانت عليها قديماً، لذلك فإن علينا أن نخمن أوجه استخدامها من المصنوعات المكتشفة في الحفائر مثل المدقات والأهوان والمطحن والمصفاة ووحدات التقطير والبواتق. وكانت إحدى اكتشافات ما بين النهرين عبارة عن آنية فخارية على شكل قدر لها حافة مزدوجة، ربما كانت تستخدم لاستخلاص الزيوت النباتية أو المستخلصات العطرية. كانت المادة الخام توضع بين الحافتين ويغطى الوعاء بغطاء ويُغلى أحد المذيبات (ماء أو زيت) في القاع. يتكثف بخار المذيب الذي يغلى على الغطاء ويسيل فوق المادة الخام ويستخلص المكون المرغوب ثم يتقطر عائدا إلى قاع القدر ـ وهو المبدأ نفسه المستخدم اليوم لترشيح القهوة بالاستخلاص[11].

ولدينا الآن فكرة عن بعض المركبات الأخرى الشائعة، وذلك لأنه في أحد الأيام الرائعة من أيام الألفية الثالثة في بلاد مابين النهرين تناول طبيب سومري مجهول الاسم أحد ألواح الصلصال بطول ست بوصات وعرض أربع، وأثبت فيه قائمة بوصفاته المفضلة.

تراث الطبيب السومري

كانت بعض المكونات في الوصفات عبارة عن أملاح تتكرر أسماؤها مرات كثيرة فى قصتنا: كلوريد الصوديوم (المعروف باسم ملح الطعام ـ ويوجد على شكل رواسب طبيعية أو يتم الحصول عليه بتبخير ماء البحر)، وكربونات الصوديوم (عرفت فيما بعد باسم رماد الصودا عند الأوروبيين وتوجد كرواسب طبيعية أو تنتج من احتراق النباتات الغنية بالصوديوم) وكلوريد الأمونيوم (عرف فيما بعد باسم ملح النشادر عند الأوروبيين ويحصلون عليه من حرق كتل كبيرة من الفحم أو تسخين روث الجمال الذي تعرض طويلا للجو). أما المعادن من مثل الشب أو كبريتات الألومنيوم والبوتاسيوم، والجبس أو كبريتات الكالسيوم فكانت تجمع وتطحن من أجل الدواء، وكان الجبس يستخدم كذلك كنوع من الملاط[12].

وتظهر نترات الصوديوم أو نترات البوتاسيوم كذلك في هذه الوصفات، وكل منهما كان يطلق عليه فيما بعد ملح بيتر أو النيتر عند الأوروبيين (وكان

ينسب للنيتر خواص علاجية عدة عبر العصور، فكان يوصف في ظروف مختلفة مثل العجز الجنسي والربو والشبق الجنسي ـ إلا أن معظم هذه المعالجات ثبت عدم جدواها.

غير أن قيمة النيتر ارتفعت ارتفاعا كبيرا عندما وجد أنه مكون أساسي للبارود). وتنتج المركبات البلورية عديمة اللون والتي يتكون منها النيتر من تأثير فعل البكتيريا على المخلفات النيتروجينية مثل البول والسماد. وهي مركبات مألوفة لأي إنسان له احتكاك بالإسطبلات. ومن خبراتنا اللاحقة يمكن أن يكون السومريون قد جمعوا النيتر من جوانب المجارير ومزارع الحيوانات، وكان يحتوي من دون شك على الكثير من الشوائب. وطبعا لم يكن من المركبات في نظافة وشكل البلورات الموجودة على أرفف الصيدليات اليوم. كانت على الأغلب مخاليط قذرة: حتى أن واحدا من أشهر المركبات الكيميائة وهو الماء كثيرا ما كان على شكل مادة معتمة مضببة يميل لونها إلى البني.

واشتملت الوصفات على مكونات أخرى مصدرها الحيوانات (اللبن وجلد الثعبان ودرقة السلحفاة)، ومن نباتات (الآس والزعتر) ومن أشجار (الصفصاف والكمثرى والتين والبلح). ويجري استخدام هذه المكونات كما هي مباشرة أو على شكل مسحوق. وكانت الوصفات تتطلب في بعض الأحيان أن يستخلص المكون المطلوب بواسطة الماء المغلي، أما إذا كان المكون لا يذوب في الماء فيمكن استخلاصه بالبيرة أو النبيذ. ويحتوي (النبيذ) أو البيرة بالطبع على الإيثانول ـ وهو مادة كيميائية كانت لها أهميتها نفسها اليوم. وينتج الإيثانول عندما تقوم طحالب معينة وحيدة الخلية تسمى خميرة باستهلاك السكر في عملية اسمها التخمر. وتوجد الخمائر التي تسبب التخمر طبيعيا على الكروم، لذلك فإن التخمر يمكن أن يحدث تلقائياً في عصير العنب الغني بالسكر. وقد كانت الظروف المشجعة على التخمر وإنتاج الإيثانول معروفة ومستخدمة طوال عشرة الآلاف سنة الماضية على الأرجح، جاعلة من التخمر واحدا من أقدم العمليات الكيميائية إن لم يكن أشهرها. والإيثانول مذيب مستخلص رائع للمواد العضوية المحتوية على الكربون مثل زيوت النباتات والكحول. يمتزج الطرف العضوي من جزيء الإيثانول المحتوي على الكربون والهيدروجين جيدا مع المواد النباتية

وهي مواد عضوية كذلك. أما الطرف الكحولي للإيثانول والذي يتكون من الأكسجين والهيدروجين فيمتزج جيدا مع الماء الذي يحتوي كذلك على الأكسجين والهيدروجين بالنسبة المألوفة H2O. ويمكن للمواد العضوية الممتزجة بالإيثانول أن تتحول إلى محلول مائي، ويمكن بعد ذلك حفظ تلك المستخلصات وتخزينها في صورة جامد أو سائل أو مسحوق، كما هي الحال اليوم.

وقد استخدم الطبيب السومري كذلك الزيوت النباتية والدهون الحيوانية كمستخلصات ومراهم، لكن لسوء الحظ لم تصلنا المعلومات عن القيمة الدوائية للأعشاب العلاجية وفي أي الأمراض كانت تستخدم، ربما بسبب تقيد الطبيب بالمساحة المحدودة للوح أو بسبب الطبيعة المرهقة البطيئة للكتابة المسمارية. ومع ذلك فإن بعضا من التأثيرات العلاجية يمكن تخمينه. فمثلا في الوصفة الثانية عشرة ينصح الطبيب:

> انخل واعجن معا ـ الكل مع بعضه ـ ترس سلحفاة ونبات الناجا [المحتوي على الصوديوم] فى أول تبرعمه، والملح، والخردل. اغسل [البقعة المريضة] ببيرة جيدة [و] ماء ساخن. حك [البقعة المريضة] بكل هذا. بعد الحك ادهن بزيت نباتي ثم غط بمسحوق التنّوب[13].

يقوم الغسيل الموصوف فى هذا العلاج بتنظيف المنطقة المصابة، أما الملح والكحول فلا شك يعملان كمطهرات أو مضادات للتعفن. وثمة وصفتان من وصفات اللوح تستلزم استخدام ملح قلوي (صوديوم أو بوتاسيوم) مع دهن طبيعي ـ وهو ما ينتج عنه الصابون ـ وهذا يساعد مرة أخرى في تنظيف الجرح أو المنطقة المصابة إذا استعمل من الخارج.

ومن الطريف أن طبيبنا السومري لم يسجل أي تعاويذ طقوس سحرية لاستخدامها مع الدواء، الأمر الذي يدل على أن الطقوس إما أنها لم تكن تستخدم، وإما لم تكن تعد من الأهمية بحيث تحتل مكانا من مساحة اللوح المحددة. غير أن السحرة أصبحوا في فترة لاحقة أكثر أهمية من الأطباء في معالجة الأمراض في المجتمع البابلي الذي أنتج واحدة من أغزر قوائم الدواء[14]. وفي الحقيقة كان المرض يعد تلبسا أو استحواذا شيطانيا سببه ارتكاب الرذيلة، وكانت العقاقير تستخدم لطرد الأرواح الشريرة أكثر منها لتطهير المريض. وكان الدواء يصنع بشكل مقزز عمدا ليطرد الشيطان

خارجا (ولم تكن هناك أي فرصة للمريض المسكين سوى أن يخضع)، ولذا كان العلاج يتكون من لحم نيئ وجسد ثعبان ولحاء أشجار وزيت وطعام نتن وعظام مسحوقة ودهن وقاذورات وبراز آدمي أو حيواني. وقد أشرنا إلى هذا هنا لأن نظرية التلبس الشيطاني عادت للظهور على السطح مرة أخرى فى أوروبا في السنوات 1600 الميلادية.

ويمكن تفهم الحاجة إلى مثل هذه الإجراءات الطبية القاسية إذا نظرنا إلى نوعية الحياة في تلك الحضارات القديمة. كان الناس يموتون بشكل روتيني من تحلل الأسنان والجروح البسيطة والعدوى والحمّى التي كان من الممكن معالجتها في غضون ساعة واحدة بالأدوية المتاحة الآن. كانوا يعانون من الأخرجة ومن العمى. كان الألم والطفيليات من ثوابت الحياة المقبولة. وكانت فرص النساء في النجاة من ولادة الأطفال مثل فرصهن في النجاة لو ذهبن للحرب، وهو ما كان يحدث كثيرا، ولم تكن فرص الأطفال فى النجاة من طفولتهم أعلى من ذلك بكثير.

وكثيرا ما كانت طرق الهروب من الحياة في أهمية طرق الحفاظ عليها، وواحدة من هذه الطرق كانت من خلال الفن. ومع أن كلمة فن هنا توحي بالأشياء المرسومة والجدران إلا أن هناك وسيلة مألوفة كانت تستخدم لنقل الفكر: التجمل الشخصي. وتقوم قصة سيدنا يوسف (في الكتاب المقدس) شاهدا على هذا الشكل من الفن. ففي هذه القصة يلقي إخوة يوسف به في الجب ويتركونه ليلقى حتفه، أما جريمته؟ فقد كانوا يحسدونه على ردائه المتعدد الألوان.

الدهان والصبغة

كانت الملابس تصنع من الصوف والقطن والكتان، لكن الصوف كان الأكثر شيوعا. وكانت الصبغات بشكل عام عضوية، وهو الاسم الذي يطلق على فصيل من المركبات التي تتكون من الكربون والهيدروجين أو الهيدرو كربونات، والتى كانت تستخرج في ذلك الوقت من الحيوانات والنباتات. أما غير العضوي فهو الاسم الذي أعطي للمركبات التي ليست هيدرو كربونات، والتى تستخرج من المعادن. وتستخدم مجموعة من الأملاح غير العضوية كمثبتات للصبغة: المواد التي تثبت الصبغة بالربط الكيميائي بين

كل من الصبغة وبنية البروتين فى الملابس. وكانت النيلة المستخرجة من نبات النيلة هي الصبغة الزرقاء المفضلة (وسنرى كيف أن هذه الصبغة ستعيد صنع التاريخ الكيميائي والاجتماعي مرة أخرى مع بدايات السنوات 1900 [من العصر الحالي]). وكانت الصبغة بعد تخمرها في الراقود (وعاء ضخم) عديمة اللون. لكن الملابس التي تغمس فيها ثم تعرض للهواء ستتحول للون الأزرق الداكن في ثوان معدودات. واستخدمت نباتات أخرى للصباغة كالزعفران الذي ينتج صبغة صفراء، والفوَّة الذي ينتج صبغة حمراء، وجدت على ملابس المومياوات المصرية. وفيما بين النهرين كانت الصبغة الحمراء مصدرها القرمز وهو مسحوق حشرة قشرية تسمى قرمزية (قملة النباتات) تعيش على أشجار البلوط في منطقة البحر المتوسط. وكانت أغلى الصبغات هي صبغة الأرجوان التي كان يُحصل عليها من غدة في بلح البحر (أحد الرخويات) الموجود في مواقع خاصة فقط على ساحل البحر المتوسط. ويعطي كل كائن من هذه الكائنات كمية ضئيلة فقط من سائل دهني له رائحة الثوم (يسجل البعض أن 12 ألف كائن من بلح البحر تلزم للحصول على عينة في حجم قطرة واحدة من الصبغة[15]، لكن عند استخدامها تعطي صبغة أرجوانية غير عادية وأخاذة.

وبالإضافة إلى الملابس وديكوراتها كانت مستحضرات التجميل تستخدم لتحسين المظهر الشخصي شأن العطور. ويشير أحد النصوص البابلية بالذات إلى أن النساء كن يعملن في تحضير العطور مثل الرجال، وبذلك تكون النساء قد ساهمن على الأقل في هذه الصناعة من التقنية الكيميائية، وعلى الأغلب فإنهن كن مساهمات في مجالات أخرى. وبمرور الزمن تطورت هذه التقنيات الكيميائية حتى إن الحرفيين يستطيعون إنتاج مواد كثيرة طريفة ومفيدة. كان الزجاج واحدا من أكثر هذه المواد طرافة ويشبه الذهب في البداية حيث لم يكن له أي هدف سوى الجمال.

الزجاج

يشكل السيليكون تقريبا خمسة وعشرين في المائة من القشرة الأرضية وهو في ذلك يلي الأكسجين في نسبة انتشاره. ومعظم الأرض التي نقف عليها من السيليكات، السيليكون ـ أكسجين، أو ما يعرف عادة بالرمل. وكان

الزجاج المكون من السيليكات المصهورة ينتج في الطبيعة من ضربات البرق والبراكين أو في الأماكن التي تحفرها النيازك من سطح الأرض. وقد استخدم المصريون الزجاج للتزجيج منذ الأزمنة الحجرية الحديثة، لكن إنتاج الزجاج كمادة مستقلة لأغراض مقصودة لم يحدث إلا سنة 3000 ـ 2000 ق. م. في بلاد ما بين النهرين.

في البداية كان الحرفيون يصنعون الزجاج من الرمل أو الكوارتز (ثاني أكسيد السيليكون) وكربونات الصوديوم الخام، والتي كانت توجد في مصر فى طبقات تحت البحيرات القريبة من الإسكندرية. ومن دون كربونات الصوديوم فإن الأمر يحتاج إلى لهب درجة حرارته عالية إلى 1700 مئوية لصهر الرمل (تؤدي إضافة كربونات الصوديوم إلى خفض درجة الانصهار لأنها تنتج صهورا من أكسيد الصوديوم). ويذوب الزجاج المنتج بالصوديوم إلى حد ما في الماء وهو الأمر الذى كثيرا ما استخدم في الفن. ومع ذلك فقد كانت الأوعية الزجاجية تنتج (للقلة المتميزة) لتخزين المراهم أو المواد الأخرى التي كانت تمتص بواسطة قدور السيراميك[16]. وقد وجد الحرفيون حوالى سنة 1300 ق. م. أن إدخال أكسيد الكالسيوم، وهو مركب كيميائي آخر كان معروفا للقدماء يقلل من ذوبانية الزجاج. وكان الأوروبيون المتأخرون يسمونه الجير أو الجير الحي (الجير غير المطفأ أو الكلس)، يتكون من تسخين كربونات الكالسيوم الموجودة فى الأصداف أو بتسخين الرواسب الطبيعية للحجر الجيري أو الطباشير.

وبمجرد اكتشاف هذه التقنية بدأت على الفور مصانع الزجاج فى مصر القديمة. كان الزجاج فى هذه الحضارات القديمة يصب صبا ولا ينفخ. وكان مضببا أزرق اللون (ملونا بواسطة مركبات النحاس وأحيانا الكوبلت)، مع بعض الألوان الأخرى التي يكتسبها الزجاج. واستخدم الآشوريون أكسيد القصدير وأنتيمونات الرصاص لتلوين زجاج الزينة باللون الأبيض والأصفر على التوالي. وساد اعتقاد بأن الآشوريين كانوا يعرفون كيف يصنعون الماء الملكي (مزيج من حمض النيتريك والهيدروكلوريك)، لأنهم استخدموا أملاح الذهب لإضفاء اللون الأحمر على زجاجهم، وكان الماء الملكي ضروريا لإذابة الذهب.

مواد وطرق أخرى

بينما تشكل التقنيات سالفة الذكر قائمة تثير الإعجاب فإنها ليست شاملة لكل إنجازات العصور القديمة. فنحن لم نتعمق فى خبرة الهندوس في دباغة الجلود أو فن سبك الفلزات في وسط أمريكا. وهناك تقنية أخرى سنعرض لها هنا بسبب الغموض الذي يحيط بها وليس بسبب الدرجة العالية من الخبرة التقنية بالتحديد، ذلك هو فن التحنيط المصري الشهير.

ولصنع المومياء كان المصريون يقومون بإفراغ الجثة من أحشائها، ثم حشوها بالنبيذ والعطور. ويستخرجون المخ قطعة قطعة من فتحة الأنف باستخدام خطاف حديدي (وقد تكون هذه أكثر الأجزاء غموضا في العملية)، وبعدها ينقعون الجسد في حمام من النطرون (ملح الصوديوم والألومنيوم والسيلكون والأكسجين) لمدة 70 يوماً. وتقتل هذه العملية البكتريا التي تسبب التحلل وتنزع الماء من الخلايا، حتى لا يتسنى للبكتيريا في المستقبل أن تجد موقعاً مناسباً لها. كانوا يقومون بعد ذلك بلف الجسد بأشرطة من القماش مكسوة بالصمغ ثم يدفعون الجثة في قبر محكم الإغلاق، معزول عن الرطوبة المفسدة والهواء. ولا تمثل العملية غموضا أكثر من عملية تمليح اللحم.

ومع تطور التحنيط والزجاج والصباغة أصابت المجتمعات نجاحا يكفيها لتكريس الوقت والمواد، في مهام ليست مرتبطة ارتباطا مباشرا بالأعمال اليومية الرامية للبقاء على الحياة. وقد بلغ هذا الاتجاه ذروته في مهنة لا تتطلب جهدا يدويا ولا تنتج منتجا عدا الفكر: الفلسفة. وقد أعطت الحضارة والكيمياء للفلاسفة وقتا للتفكير وموضوعا يفكرون فيه.

من حوالى 2000 عام إلى 300 عام (ق. م): الفلاسفة

في الوقت الذي كانت تتراكم فيه الحقائق الكيميائية باستمرار بواسطة الحرفيين، كانت هذه الحقائق محل دراسة بواسطة الفلاسفة - الذين كانوا يعملون كذلك كرياضيين وفلكيين وتشريحيين وفيزيائيين ولاهوتيين ومنظرين سياسيين. وفي الحقيقة لم يبدأ علماء أوروبا في التفكير في أعمالهم كأشياء منفصلة عن الفلسفة إلا في أوائل القرن التاسع عشر. ومع أن الفلسفة كانت شائعة في كل الثقافات إلا أن فلاسفة اليونان كانوا هم

الأكثر تأثيرا في تطور الكيمياء الحديثة. وقد استخلص هؤلاء المفكرون فرضيات عن طبيعة المادة والتفاعل بين المواد مما ساعد أو أعاق التطورات الكيميائية على طول الألفي عام التالية.

الحضارة الإغريقية المبكرة

ظهر المينويون (سكان جزيرة كريت القدماء) كأول حضارة إيجية (في منطقة بحر إيجة) حوالي سنة 2000 (ق. م)، وتمركز المينويون على جزيرة كريت المجاورة لشبه جزيرة اليونان وكانوا مجتمعاً غنياً هانئاً. كانت التربة الكريتية تنبت أعراش الكروم وأشجار الزيتون وكان الكريتيون يحصلون على الفلز عن طريق الاتجار بالكروم وزيت الزيتون والأخشاب والأفيون مع اليونان وقبرص ومصر والساحل الشرقي للبحر المتوسط[17]. كما كان الكريتيون يعرفون الإسمنت والسيراميك، واستخدموا هذه المواد لإنشاء نظام صحي داخل البيوت. ولم يكن هذا النظام متاحا لأوروبا الشمالية حتى القرن الثامن عشر، وكان المعبود (الإله) الرئيسي مؤنثا مما جعل النساء المينويات يتمتعن بالمساواة الكاملة مع الرجال، بما في ذلك ممارسة حرفة مصارعة الثيران والملاكمة.

وتم غزو هذا المجتمع المسالم واحتلاله بواسطة الميسينيين من أرض اليونان الرئيسية حوالي سنة 1500 ق. م. وكمجتمع عسكري، قام الميسينيون ببناء أسوار صماء محصنة حول المدن اليونانية وركزوا جهودهم في إنتاج الخناجر والسيوف والخوذات والدروع. ومدوا تجارتهم حتى سواحل آسيا الصغرى ورودس وسوريا وأواسط البحر المتوسط ليزودوا قواتهم العسكرية بالمواد اللازمة. وبعد حوالى سنة 1200 ق. م. أدت موجة من الغزوات التي قامت بها القبائل الهندو ـ أوروبية الهيلينية من البلقان، إلى سقوط قاعدة آسيا الصغرى طروادة (حرب طروادة الأسطورية)، ودخلت اليونان عصرا مظلما امتد ما يقرب من 400 سنة.

انتهت هذه الفترة حوالى سنة 800 ق.م. عندما قامت المجموعات الهندو ـ أوروبية ـ التي استقرت في وطنها الجديد ـ باستئناف التجارة مع آسيا وتبنت نسخة معدلة من الأبجدية الفينيقية . هيأت الأبجدية الفينيقية زيادة مطردة في كفاءة الكتابة وسهولة تعلمها مع تعدد استعمالاتها، علاوة

على رخص مواد الكتابة مثل ورق البردي من مصر، ويمكن مقارنة ذلك باختراع الطباعة المتحركة أو تطور الكمبيوتر في العصر الحديث[18]. كان أحد منتجات هذا الوسط الفكري الغني والجديد هو تطور فصيل من المعلمين الذين كانوا يعلمون أولاد الأغنياء بأجر. وقد بحث هؤلاء المعلمون ـ الفلاسفة ـ من أجل الوصول إلى تفسيرات معقولة للعالم المشاهد (مثل ما يفعل المعلمون اليوم).

الفلاسفة اليونانيون

لم تكن تفسيرات العالم المرئي جديدة طبعا. فقد كانت ومازالت هي روح الدين . ومع ذلك فإن هؤلاء المفكرين الجدد لم يستشهدوا بآلهة في تفسيراتهم، أي أنهم حاولوا أن يحتفظوا بتفسيراتهم العقلية (المعتمدة على العقل) في مواجهة الصوفية (المبنية على الحدس والإيمان فقط). ومثلما أن تأمل طبيعة العالم لم يكن جديدا كذلك الفكر العقلاني. وقد طور البابليون رياضيات معقدة وأصبحوا بحلول العام 1600 ق. م. معنيين بالتفكير العقلي. أما في أفريقيا فالمعرفة الرياضية المصرية التي تمثلت في تقسيم الأراضي والمساحة وتشييد الأهرامات، استندت يقينا إلى فكر عقلاني. وقد كان الفيلسوف الهندي القديم كابيلا يعتقد أن المسائل الفلسفية يمكن أن تحل دون اللجوء إلى التفاسير الصوفية. وتورد الـ «نياياسوترا» الهندية ـ والتي من المرجح أن تكون قد كتبت في وقت ما بين القرن الثالث قبل الميلاد والقر ن الأول الميلادي ـ قوائم بمبادئ المناقشة والحجج والأفكار الخاطئة الشائعة. لكن يجب أن نولي اهتماما خاصا للإغريق، فلأسباب سياسية أكثر منها فلسفية (سنعرض لذلك باختصار) كان قدر الإغريق أن يقوموا بشرح فلسفة الطبيعة وطبيعة الفلسفة والتي كان لها أكبر الأثر في مستقبل الأحداث الكيميائية.

طاليس وأناكسيماندر وأناكسيمينس وأناكساجوراس

نعتمد في الكيمياء الحديثة حوالى مائة عنصر هي اللبنات الأساسية التي تتكون منها كل المادة، وليس هناك مايبرر الزعم بأن هذا هو الافتراض الأول، إذ كان الجهد الفلسفي معنيا في البداية باكتشاف الجوهر الأساسي

الأوحد للطبيعة ـ المادة الأساسية، تلك التي تكوّن منها كل ما سواها. وبدأ هذا الجهد بالنسبة للإغريق حوالى سنة 600 ق. م. على سواحل بحر إيجة في آسيا الصغرى في المدينة الأيونية المستقلة مليتوس على يدي أول الفلاسفة الأيونيين ـ طاليس.

وليس معروفا عن حياة طاليس إلا القليل. فقد ولد في أسرة متميزة، ولا نعلم لماذا اختار حياة التدريس والفلسفة، ولكنه فعل ذلك. كان طاليس يعتقد أن المادة الخام الرئيسية في الطبيعة لا بد وأن تكون مادة واحدة. وكان يعلم تلاميذه أن هذه المادة الأساسية هي الماء وربما كان متأثرا في ذلك بالتعاليم الدينية البابلية. ولم يكن طاليس يستشهد بأدلة دينية لدعم نظريته، لكنه في المقابل كان يعتمد على المشاهدات حيث كان الماء يتحول إلى هواء (البخر) أو جامد (التجمد) وبذلك فهو يكوِّن كل الأشياء. وقد أعطى ذلك الاتجاه أساس المدارس الفكرية الإغريقية في المستقبل، وهو تفسير الظواهر الطبيعية على أساس الاستدلال العقلي المعتمد على الملاحظة دون الوحي المفارق.

وقد تلا طاليس تلميذه أناكسيماندر (فى منتصف الأعوام 1500 ق . م.) في افتراض أن المادة الأساسية في كل شيء اسمه «أبيرون». ولم يكن أناكسيماندر يملك وصفا دقيقا لهذه المادة. لكنه كان يقول إن العوالم كانت تتكون وتختفي مثل الفقاعات في هذا الأبيرون. ووضع نظرية تقول إن النظام الشمسي قد ظهر إلى الوجود عندما انفصلت كتلة من الأبيرون من زمن لانهائي في حركة دائرية تسببت في تحجر المادة الثقيلة في المركز، أما الحواف فقد تكثفت على شكل أجرام سماوية. يمكن مقارنة هذه النظرية بالنظرية الكونية الحديثة[19]. وهى تعطى انطباعا بدقة الحدس المتعلق بالعالم الحسي. ومن جهة أخرى كان أناكسيماندر يرى الأرض على شكل اسطوانة مفلطحة. وكان يعتقد بأن الحيوانات كانت تنشأ من المادة غير الحية بينما ينشأ الإنسان من الأسماك، وهو الأمر الذي يذكرنا بالطبيعة التأملية لهذه النظريات.

عاش أناكسيمينس حوالي سنة 550 ق. م. وكان على الأرجح تلميذا لأناكسيماندر، لكنه كان يقول إن الهواء هو الجوهر الأول. وتبعا لمقولة أناكسيمينس فإن الهواء المخلخل يصبح نادرا أما المكثف فإنه يكوّن كل شيء

آخر (الماء والأرض والأحجار). ودعما لنظريته كان أناكسيمينس يقول إن الهواء المنفوخ من شفاه مضمومة يصبح بارداً أما الهواء المنفوخ من فم مفتوح فهو حار: بمعنى أن الهواء المضغوط يتكثف أما المتمدد فإنه يتحول إلى نار.

عاش أناكساجوراس آخر الفلاسفة الأيونيين المتميزين حوالى العام 400 ق. م، وعلى الرغم من أنه ولد لوالدين موسرين فإنه يبدو قد أنفق ميراثه فى ممارسة الفلسفة الطبيعية. وقد رمى أناكساجوراس جانبا تقاليد البحث عن مادة أولية وحيدة، وكان يضع الفروض «كيف يمكن أن يأتي الشَّعر مما ليس شعرا واللحم مما ليس لحما»[20]. وكان يفترض وجود بذور: أجزاء متناهية الصغر من كل شيء توجد فى العالم المرئي. ولم تكن هذه البذور تبدأ وجودها أو تفنى ولكنها كانت تكوّن كل المواد. وتتشكل المواد الجديدة منها عندما تمتزج أو تنفصل. وعلى عكس النظريات الذرية اللاحقة كان أناكساجوراس يؤمن بأن كل المواد قابلة للانقسام إلى ما لانهاية، وأن الأجزاء الصغيرة الناتجة عن الانقسام تحتوي على أجزاء من كل مادة أخرى.

من المهم أن نتو قف قليلا هنا لنلاحظ مجريات التطور: كان الخلاف يدور حول ماهية الجوهر أو الجواهر الأولى، لكن كل المتحاورين فيما يبدو كانوا يركنون في دعة إلى الافتراض بأنه مهما كان هذا العنصر الأساسي (أو العناصر) فلا بد أن يكون موجودا في أجزاء صغيرة فى كل المواد. كان هذا الفرض الذي كدح من أجله الكيميائيون على مدى الألفي عام التالية كان أحد أسباب هذا الإصرار هو توالي البديهيات فى البراهين المقدمة بواسطة الفلاسفة والمدعمة بالملاحظات اليومية، لكن سببا آخر تمثل فى الانتفاضات الاجتماعية التى أدت إلى انتشار الفلاسفة الإغريق فى كل أنحاء البحر المتوسط مثل بذور أناكساجوراس.

بدأت هذه الانتفاضات عندما غزا الفرس مليتوس وهاجر الفلاسفة الأيونيون إلى مناطق أخرى من اليونان. سافر أناكساجوراس إلي أثينا، حيث يقال إنه قدم تفسيرا دقيقا للكسوف والخسوف. وفي النهاية حوكم بتهمة الهرطقة عندما كان يؤكد أن الشمس ما هي إلا حجر متوهج أكبر قليلا من منطقة البيلوبونيز. وعلى الرغم من رد الفعل غير المتوقع

لمواطني أثينا فإنه كان مقدرا لأثينا بالذات أن تصبح أهم مركز للفلسفة.

فيثاغورس وزينون وأنبادقليس

قبل وصول أناكساجوراس إلى أثينا، كانت تقاليد فلسفية أخرى قد وجدت لنفسها موضع قدم في هذه الأرض الخصبة بما في ذلك مدرسة فيثاغورس. أما فيثاغورس نفسه والذي ولد على جزيرة في بحر إيجة فقد تمرس في تعاليم الفلاسفة الأيونيين واطَّلع على الرياضيات البابلية والمصرية خلال رحلاته. وقد دفعه هذا المزيج من المؤثرات إلى جماعة سرية نذرت نفسها للتفكير الرياضي والتأمل الديني. واقترح أتباع فيثاغورس (الذين كان يقال إنهم يضمون الرجال والنساء على قدم المساواة) نظريات رياضية عن المادة، وأنها تضم خمسة عناصر كانوا يتخيلونها على شكل جوامد هندسية: كانت الأراضي مكعبات والماء عشريني الأوجه والهواء ثماني الأوجه والنار رباعية الأوجه أما الأثير (عنصر سديمي يملأ الفراغات التي لا تشغلها العناصر الأربعة الأخرى) فكان اثني عشري الأوجه.

كانت المدرسة الفكرية لزينون الأيلي عكس ذلك. فقد كان زينون يصر على أن المادة امتداد متصل، ويرفض فكرة إمكان انقسامها إلى جسيمات من عناصر مختلفة. وكان يقول إنه إذا تم الفصل بين جسيمتين لعنصرين مختلفين، فإن أيا ما كان الذي فصل بينهما لا بد أن يكون هو الآخر شيئا ما، لذا فإن المادة امتداد متصل. وكان اتصال المادة محل دفاع حتى القرن العشرين لكن دون إضافة من زينون. وقد التحق زينون بتنظيم سري للإطاحة بطاغية كان يحكم وطنه مدينة إيليا، لكن لرفضه الإفصاح عن أسماء شركائه وهو تحت التعذيب فقد مات وماتت أفكاره معه.

كانت هناك مدرسة مهمة ثالثة للفكر أثرت في فلسفة أثينا هي مدرسة أنبادقليس. ومن الصعب أن نعطي هذا الاسم حقه، لكن يكفي أن نقول إن أنبادقليس هو مؤسس نظرية العناصر الأربعة للمادة، وهي الفكرة التي سادت التفكير الكيميائي العربي والأوروبي حتى نهاية القرن الثامن عشر.

ومع أن أنبادقليس كان أرستقراطيا بالميلاد، إلا أنه كان من أتباع المدرسة الفيثاغورسية التي تدعو إلى المساواة، وقد رفض التاج الذي قدمه له وطنه المدينة عندما ساعد في الإطاحة بالأقلية الحاكمة. وفي المقابل أسس

أنبادقليس الديمقراطية. وقد ألّف ـ ككاتب رائع ـ بحثا في الطب وكذلك في الفلسفة الطبيعية، حيث افترض فيه أن هناك أربعة عناصر (سماها الجذور) ـ التراب والماء والهواء والنار ـ تشكل أساس كل الأشياء، وأن هناك قوتين ـ الحب والكراهية ـ تتحكمان فى تمازجها. وتبعا لنظرية أنبادقليس فإن كل العناصر الأربعة موجودة فى جميع المواد، لكن بنسب مختلفة.

ومن المعروف عن أنبادقليس أنه أثبت بطريقة فيزيائية أن الهواء جسم مادي. فقد استخدم ساعة مائية (مخروط به ثقوب في القاع والقمة، وعندما يوضع في الماء يغرق ببطء نحو القاع ويعمل بذلك كمقياس تقريبي للزمن)، وبيّن أنه إذا سد قمة المخروط بإصبعه فإن الماء لا يملأ المخروط. ولما أزاح إصبعه اندفع الهواء من الفتحة إلى الخارج. وبمعرفة إمكاناته في استخدام الدقة المنطقية وإيمانه بالديموقراطية، فإنه من الطريف أنه في نهاية الأمر قرر أنبادقليس إعلان نفسه إلها. وقد قام بإلقاء نفسه في فوهة بركان ليقنع أتباعه بألوهيته. تقول القصة بعد ذلك إن البركان قد ألقى بحذاء أنبادقليس ثانية، وبذلك تحطمت ألوهيته.

ديموقريطس وليوسيباس

تعد النظرية الذرية الإغريقية آخر الفلسفات التي سندرسها في مراحل الإعداد، وهي النظرية التي سيعود اسمها ومبادئها للظهور باستمرار في قصتنا. ومع أن بدايات النظرية الذرية الإغريقية تنسب عادة لديموقريطس وحده، فإن من الأرجح أن تكون هذه الأفكار بصفة عامة قد نشأت مع ليوسيباس ـ معلمه.

كان ديموقريطس كثير الحركة معروفا باسم الفيلسوف الضاحك لسخريته من الجنس البشري، وقد تكون كتابات المعلم قد نسبت بطريق الخطأ للتلميذ الأكثر شهرة.

ينص صلب النظرية على أن المادة مصنوعة من عدد لانهائي من ذرات العناصر الجامدة في حركة دائمة، وكان من المعتقد أن هذه الذرات تكوّن المواد بخصائص تتحدد من شكل الذرة (فمثلا تنسج الأغشية من ذرات لها شكل الخطاطيف)، وهي الفكرة التي احتفظت بإغوائها في الفلسفة الكيميائية لأوروبا الغربية حتى القرن السابع عشر، والطبيعة الذرية للمواد

من النظريات المقبولة، اليوم، على الرغم من أن ذرات النظريات الحديثة تختلف بشدة عن تلك التي كان يتصورها ديموقريطس كما سنرى فيما بعد.

سقراط نحاتا

ذلك كان الوسط الغني الذي نشأ فيه سقراط، وقد ولد لأبوين من الطبقة العاملة (كان أبوه نحاتا وأمه قابلة) وكان قصيرا وشجاعا له عينان جاحظتان وأنف أفطس، وقد خدم كجندي مشاة في الحرب البليوبونزية. وهي الخبرة التي ربما أثرت في فلسفته. ولأنه كان معنيا بتطوير قواعد لمجتمع يتمتع بالسلام والنظام ولأخلاق، فقد استخدم المنهج الاستنباطي للاستدلال والذي يبدأ بحقيقة تبدو صادقة ولا تقبل الجدل في نظر جميع الكائنات العاقلة ثم يستخلص النتائج من هذه الحقيقة باستخدام قواعد المنطق المحددة بوضوح. ربما كانت هذه الطريقة تعمل جيداً في الأنظمة الاجتماعية ـ وربما كان الصدق الذي لا يقبل الجدل هو شيء يتفق عليه كل الناس في مجتمع معين ـ لكن قد لا تعمل هذه الطريقة بنجاح في الكيمياء. فالطبيعة تملي قواعدها في الكيمياء، وهي قواعد لا تبدو واضحة بصورة مباشرة لكل الكائنات العاقلة. وكان سقراط يرفض البرهان بالقياس (فمثلا لم يسق النبات الأول فمات، لذلك سيموت النبات الثاني إذا لم يسق)، والبرهان بالاستقراء (فمثلا غرق اللاموس الأول والثاني والثالث عندما وقعوا في البحر، لذلك سيغرق اللاموس الرابع أيضاً) مفضلا الاستدلال بالمنهج الاستنباطي. وقد تكون هذه الأنماط من البراهين نافعة في الكيمياء (وقد تخدم النباتات واللاموس وقت الحاجة إليها أيضا). وفى هذا الصدد فقد عاق منطق سقراط الكيميائيين الذين التزموا به في المستقبل.

وقد رفض سقراط التجريب كوسيلة للوصول إلى الحقيقة، معتقدا أن الطبيعة الأساسية للعالم يمكن إدراكها بالتأمل العقلي فقط. وعلى الرغم من أن أتباعه كانوا يجرِّبون العالم المادي بالطريقة نفسها التي نفعل بها ذلك ـ بالسير والأكل والتنفس (وملاحظة ما نسير عليه وما نأكله وما نتنفسه) ـ فإنهم لم يقوموا عن قصد بالمعالجة التجريبية للمواد، ولم يدم ذلك طويلا، فقد انغمس الكيميائيون حتى مرافقهم في تجاربهم، إلا أن

هذا المنطق ترك أثرا مدمرا، إذ كان الكيميائيون يرون ما يعتقدون أنه متطابق مع حججهم وليس ما هو موجود فعلا.

وفي نهاية المطاف حوكم سقراط بتهمة إفساد الشباب وإدخال آلهة جديدة، وحكم عليه بالموت (وقد يكون من المناسب هنا أن نشير إلى أنه طوال تاريخ الكيمياء لم يتحمل أحد أي اضطهاد نتيجة لآرائه الكيميائية بينما تسببت الآراء السياسية في معاناة العديد من الناس مثل هذا المصير) ويبدو أن الأصدقاء قد عرضوا مساعدة سقراط في الهرب، لكنه كان يعتقد أن الحكم الصادر من محكمة شرعية لابد أن ينفذ. تجرع سقراط سم الشوكران، وترك تلميذه اللامع أفلاطون ليحمل الرسالة من بعده.

أفلاطون

أفلاطون سليل أسرة أثينية متميزة: كان أبوه يدَّعي أنه انحدر من الإله بوسيدون (إله البحر عند الإغريق)، وربما كانت طموحات أفلاطون المبكرة سياسية، لكنه بعد موت معلمه ربما يكون قد اقتنع أن السياسة الأثينية غير صالحة لأصحاب الضمائر، وتحول إلى حياة التعليم والفلسفة بدلا من السياسة، وعلى النقيض من معلمه كان أفلاطون يعتقد أن الفلسفة الطبيعية مجال يستحق الدراسة، ما دام المرء يترفع عن وصمة الإلحاد (والخشية من حساب الآخرة)، وذلك بوضع القوانين الطبيعية في مرتبة تابعة لسلطة المبادئ الإلهية.

كان أفلاطون بوصفه مشاهدا حذرا ومفكرا منهجيا يؤمن بأن كل شيء يمكن إدراكه بالجهد الذهني، وبهذا فإن فلسفته الطبيعية القائمة على العناصر الأربعة لأنبادقليس لها دلالة واضحة ومنطقية، فمثلا في المقتطف الآتي من محاورة أفلاطون «طيماوس» يشار إلى الفلزات على أنها مياه لأنها تنصهر، أما الذهب فيوصف بأنه الفلز الكامل، والفلزات الأخرى مثل الذهب لكنها في صورة غير نقية.

> التجمد[:]... ذلك الذي هو أكثف، يتشكل من الأدق و هو ذلك أثمن المتلكات المسمى ذهبا، وهو فريد في نوعه ويمتلك كلا من التألق واللون الأصفر، قطعة من الذهب تكون عالية الكثافة لدرجة تصبح فيها صلدة وتتخذ اللون الأسود وتسمى أدمنت (حجر صلب هو

> الماس على الأغلب). وهناك نوع آخر له أجزاء مثل الذهب تقريبا،
> وهذه المادة لامعة من نوع المياه الكثيف، وعندما تتجمدتسمى نحاسا،
> وهناك سبكة ممزوجة من الأرض معها، وعندما يتقدم العمر بهذين
> الجزأين ينفصلان ليصبح كل على حده، ويسمى صدأ[21].

وكان أفلاطون يؤمن بالفكرة العامة القائلة إن كل المواد مصنوعة من نسب مختلفة من العناصر، لكنه طوّر هذه الفكرة بإضافة أنه تحت الظروف المناسبة يمكن لأي مادة أن تتحول إلى مادة أخرى أو يحدث لها تحوّر. وقد أسس أفلاطون أكاديمية أثينا، وهي معهد مختص بالدراسة المنهجية المتصلة والبحث في الفلسفة والعلوم وذلك لينشر أفكاره (وليدعم نفسه). وقد جاء إلى هذه الأكاديمية تلميذ يبلغ من العمر 17 عاما كان مقدرا له أن يمكث كتلميذ ومعلم طوال «العشرين عاما التالية: إنه أرسطو.

أرسطو

انحدر أرسطو من أسرة مقدونية شهيرة (من شمال اليونان)، ومع أنه تيتم في سن مبكرة إلا أن الأسرة اعتنت بتعليمه. وفي الأكاديمية اعتنق أرسطو فكرة العناصر الأربعة وتحوراتها، لكنه رفض فكرة أن الجسيمات كانت مصنوعة من ذرات وفراغ. وكان يشرح ذلك بأن الهواء كان سيندفع ليملأ هذا الفراغ.

وكان يقال عنه إنه كان يردد «الطبيعة تكره الفراغ»[22]. وقد ذهب أرسطو إلى أبعد من ذلك فخلع الصفات على العناصر الأربعة، ومنح خاصية حسية تترافق مع كل منها: حار وجاف تترافق مع النار، وحار ورطب مع الهواء، وبارد ورطب مع الماء، وبارد وجاف مع الأرض.

واستخدم أرسطو المشاهدة والاستدلال الخالص للوصول إلى أفكاره. استدل أن الخشب عندما يحترق ينتج الدخان (هواء) والقار (ماء) والرماد (أرض) والنار، لذلك فإن الخشب يتكون من هذه العناصر، وعندما يقدح الحجر الصوان ينتج النار، لذا فإن النار عنصر في الصخر، وعندما تلقى بعض الصخور في الماء تتصاعد منها فقاقيع لأن الهواء الموجود في شقوقها يهرب، وسيثبت ذلك لأي إنسان أن الهواء عنصر من عناصر الصخر إذا لم يكن هناك برهان آخر، وتذوب بعض البلورات في الماء فتجعله باردا بينما

تذوب بعض البلورات الأخرى فتجعله ساخنا، أي أن السخونة والبرودة فيما يبدو خواصتان كامنتان في هذه المواد.

ومع أن أرسطو لم يعن بالتجريب المنهجي إلا أن استدلالاته من ملاحظاته تمثل تطبيقا للمنطق الاستقرائي، ولها جاذبية حدسية أكثر من الاستدلال الاستنباطي البحت عندما نطبقها على الظواهر الطبيعية، وربما ساعد هذا على قبول أفكاره على نطاق عام.

كان موقف أرسطو غائيا كذلك ـ أي أنه كان يؤمن بأن العالم محكوم بغرض معين ـ وكان يفسر الظواهر في ضوء الكيفية التي تحتل بها هذه الظواهر مكانها ضمن خطة عامة. كان هذا المنطق الديني متناغما مع اللاهوت العبري، ثم من بعد ذلك الفكر المسيحي والفكر والإسلامي. ولهذا السبب أيّدت الأديان وجهات نظر أرسطو مما أضفى على شخصيته حياة أطول. وقد أصبحت وجهات نظر أرسطو ـ والتي تقبلها الكثيرون من الكتاب والفلاسفة ـ متجسدة فى الأحاديث والأفكار الأوروبية. وظلت نظرية أرسطو عن تكوين الفلزات سائدة فى أوروبا حتى القرن السابع عشر وهي النظرية القائلة إن الفلزات عبارة عن رطوبة، زفير بخاري متحد بآخر جاف ودخانى. أما عنصر أرسطو الخامس واللامادي الغامض ـ الأثير ـ فقد ظل موضع نقاش حتى القرن العشرين.

لقد رأينا في هذا الفصل كيف كان الناس البدائيون يكتسبون معلومات مهمة عن المواد التي يستخدمونها من أجل صناعة الأدوات ومعالجة الجروح وحفظ اللحوم وجعل الحياة أكثر بهجة. وظل اكتساب المواد الجديدة قائما طوال تاريخنا ـ مع ظهور بعض المواد المدهشة. وقد رأينا كذلك كيف كان الفلاسفة الإغريق الأوائل يتناولون هذه المواد وتفاعلاتها باستخدام مناهج المنطق العقلي (في مقابل التأمل الباطني)، للوصول إلى النظرية القائلة إن المادة تتكون من مجموعة أساسية من العناصر، وإن كل المواد تحتوي كل العناصر. وقد اقترح هؤلاء الفلاسفة الأوائل احتمال التحورات: النظرية القائلة بأن تحت الظروف المناسبة يمكن لأي مادة أن تتحول إلى مادة أخرى. وكان للنموذج الأرسطي من الفلسفة اليونانية أكبر الأثر في التطورات التالية في الفكر الكيميائي، لأنه يحمل إعجابا حدسيا ويناسب أنماطا أخرى من التفكير الشائع، وكذلك لأن أرسطو كان يعمل معلماً خصوصيا

لابن فيليب المقدوني. ومن الواضح أن الطفل إسكندر كان مأخوذا بالأشياء التي تعلمها عند قدمي أرسطو. وقام هذا الطالب بعد أن أصبح اسمه الإسكندر الأكبر - فيما بعد - بنشر الحضارة اليونانية والأفكار الفلسفية من حدود الصين وحتى شواطئ إسبانيا.

2 من ٣٠٠ (ق.م) حتى ٦٠٠ ميلادي الإسكندرية والسيمياء(*)

- إسكندرية مصر
- السيمياء
- التراث التقاني الصيني
- التراث الفلسفي الصيني
- التراث التقاني الهندي
- التراث الفلسفي الهندي

بدءا من سنة 335 (ق.م)، قامت أحداث عشر سنوات بإعادة تشكيل عالم البحر المتوسط، وانتشرت بذور الحضارة الإغريقية على طول المسافة من مصر حتى القارة الهندية وأعادت ترتيب تاريخ الكيمياء. وكان المتسبب في ذلك رجل واحد: لطيف له شكل صبياني، إنه الإسكندر البالغ من العمر 23 عاما حينذاك، والذي سيسمى الأكبر فيما بعد.

ولد الإسكندر لتكون صناعته النصر. وكان ينسب لوالده فيليب المقدوني (مقدونيا هي المقاطعة التي تقع إلى الشمال مباشرة من اليونان) تطوير تقنيات عسكرية عدة منها كتيبة حملة الرماح العشرة (جبهة غير قابلة للاختراق لأنها شائكة بالرماح)، واستخدام المنجنيق في الحصار الحربي، ليبعد المدافعين عن الأسوار في أثناء الهجوم عليها. وكان هدف فيليب هو توحيد «المدن ـ الدول»

(*) تمييزا عن الكيمياء Chemistry، وهي بالإنجليزية Alchemy.

اليونانية (تحت سيادته طبعا)، وفي هذا السياق فقد انتصر على تيراس وطيبة وأثينا. وقد مكن ابنه من التعلم على يد المعلم الإغريقي (وسابقا المقدوني) الرائد أرسطو كجزء من خطته لاستيعاب الأساليب اليونانية.

وتحت تأثير هذين المؤثرين، الأب المحارب فيليب والمعلم الخاص الفيلسوف الراعي أرسطو، ظهرت شخصية الإسكندر: مزيج من الوحشية القاسية مع المثالية الطيعة. وعندما اغتيل والده أخذ الإسكندر مكانه ودفع بجيوشه من مقدونيا إلى سوريا ساحقا العصاة الإغريق بلا رحمة وبائعا أمما بأكملها كرقيق. لكن عندما أسر الإسكندر أسرة الملك الفارسي داريوس، رفض أن يستعمل امتيازه بالنسبة للنساء وقدم لهن كل الاحترام والكياسة اللائقة بالألقاب الملكية. ولما قهر الإسكندر بقايا الإمبراطورية الفارسية دفع بقواته المنهكة إلى مناطق أبعد من تلك التي كان يتطلبها تأمين حدوده، لكنه في طريق عودته من الهند، حيث مات الإسكندر، سكب حصته من الماء على الأرض لتشاهد قواته أنه لا يستولي على الماء عندما لا تملك هذه القوات شيئا منه. وقد قتل أحد الأصدقاء في ثورة غضب وسكر، لكنه عند موت صديق آخر حزن حتى أصبحت صحته مهددة. سحق الإسكندر مدنا حرة كانت دولا، وقد أطلق عليه الإغريق بغضب لقب الطاغية، لكنه كان يوقر آلهة مصر حيث رُحِّب به في هذه الأرض كمحرر.

كانت مقدرة الإسكندر على الاستهانة بالمتناقضات تسمح له بأن يكون واحدا من أكبر المؤثرين في تجانس العالم القديم. حكم بتوحيد الشرق والغرب في إمبراطورية متنورة. وأسس حوالى 25 مدينة في آسيا وشمال أفريقيا ـ ومعظمها تُسمى الإسكندرية ـ وأسكنها بقدامى المحاربين الإغريق. وبهذا الشكل يكون قد شكّل العالم الهيليني ثقافة إغريقية في توليفة فارسية.

مات الإسكندر من الحمى في سن 33. وكانت بعض الشائعات تقول إنه مات مسموما. وهو أمر سهل الحدوث وذلك بإعطائه شراب ماء فاسد (فقد كان معروفا في تلك الأيام، بشكل جيد، أي المصادر بها ماء ملوث وأيها بها ماء طيب). ومع ذلك فقد كان مصابا في المعركة إصابة بالغة ولم يكن مقدراً له أن يعيش أكثر من ذلك بكثير. وكعادة الناس الذين عاش بينهم الإسكندر، وفي سنه تلك، فقد كانت له علاقات حميمة عاطفية وحسية بالرجال أكثر من النساء، ولهذا السبب، علاوة على قيادته للحملات

العسكرية لم يتمكن من إخصاب زوجته الفارسية روكسانا إلا قبيل وفاته. ويقال إن الإسكندر قد همس وهو على فراش الموت، وقد أصبح وريثه باديا في جوف زوجته، أن مملكته لا تذهب إلا لمن يستحقها أكثر من الآخرين، وقد تحارب جنرالاته بعد موته على مدى 40 عاما ليحددوا من أكثرهم استحقاقا، وانتهوا بأن اقتسموا مملكته. ولما انقشع الغبار وحسمت النزاعات أخذ بطليموس مصر والمناطق المحيطة بها، بينما أخذ سيليكوس بابل التي كانت تضم آسيا الصغرى وما بين النهرين وفارس. ومع أن طريقنا تقودنا عاجلا إلى بابل، إلا أن قصتنا عن الكيمياء تبدأ مع الإغريق في مصر.

إسكندرية مصر

إسكندرية مصر ميناء يقع غربي مصب النيل عند البحر المتوسط. وكان طول المدينة القديمة 4 أميال، وكانت مبنية في نسق منتظم تتقاطع فيه الشوارع عموديا على بعضها. وقد استحوذ بطليموس الذي كان نفسه تلميذا لأرسطو بسرعة على السلطة في مصر. وبينما كانت الحروب في بقية أجزاء إمبراطورية الإسكندرية ـ نهبت المدن وحطمت المكتبات وقتلت العلماء وشتتتهم ـ بنى بطليموس في الإسكندرية مركزا تعليميا للبحر المتوسط، والشرق الأدنى.

ونما في الإسكندرية الهجين الثقافي الذي كان يهدف إليه الإسكندر: توليفة غنية من تقاليد الفلسفة والمعلومات العملية. وامتزج هذان النوعان من التعلم ـ الفلسفي والتقني ـ بطريقة لم يتوقعها حتى الإسكندر نفسه. فقد أوجدا نوعا جديدا من التقنية الفلسفية: السيمياء (الكيمياء القديمة ـ السيمياء).

السيمياء

تشير السيمياء إلى ممارسة سكندرية(*) إلا أن الكلمة في الحقيقة لها أصول عربية، فالجزء «أل» al من الكلمة هو أداة تعريف في العربية وقد اشتقت السيمياء alchemy من الـ «كيميا» وهي كلمة عامة تدل على ممارسة

(*) كيمياء أو سيمياء لها أصل مصري قديم، والمصطلح نسبة إلى مصر، إذ كان اسم مصر قديما كيمت، أي الأرض السوداء ـ الطمي الزراعي (المراجع).

الكيمياء.

وليس من المعروف أصول كلمة كيميا. فبعض المؤرخين يظنون أنها جاءت من كلمة مصرية تعني أسود، أي تربة النيل السوداء، أو بعض أنواع السحر الأسود، أو يمكن أن تعني المسحوق الأسود المستخدم لتكحيل العيون ومقاومة القرص اللاذع للذباب. وقد اقترح زوسيموس ـ سيميائي من الإسكندرية ـ احتمالا آخر. فقال إن الكلمة قد أطلقتها الملائكةـ الذين وقعوا في حب نساء الأرض ـ على الجنس البشري. ومؤلفا هذا الكتاب لابد أن يرفضا هذا التفسير كمؤرخين لكنهما ككيميائيين يفضلانه. ومع أن كلمة السيمياء قد انبثقت عن الكلمة العامة كيمياء ـ وتعني تقنية الحرفيين ـ إلا أنها جاءت لتشير إلى فرع من الكيمياء العملية، الذي نما موازيا لتقنية الحرفيين. وقد كان فرعا في غاية الأهمية، والمشاهدات والتقنية السيميائية كانت تغذي الكيمياء العملية ـ مثل الطب، وعلم الفلزات، والفن ـ لكن عدا ذلك فإن السيمياء كانت مهمة لأنها كانت اختبارا أوليا للفرضيات. وموضوع العلم هو التفسير والتنبؤ، وقد تنبأ أرسطو بعد تفسيره للمادة بالتحول، أي تغير إحدى المواد إلى مادة أخرى. وهذه كانت الفرضية التي وضعها السيميائيون موضع الاختبار واستمروا في ذلك طوال الألف سنة التالية.

وتباينت آراء السيميائيين بشأن الهدف من التحولات. ففي أكثر الأحيان كان الهدف إنتاج الذهب، ومع ذلك فقد يكون الهدف طبيا أو حتى تحول الكهل إلى شاب أو الجسد الأرضي إلى روح. وقد اختلفت أيضا تقنيات التحول: اتخذ بعض السيميائيين طريقا عمليا وذلك بالذوبان والصهر والاتحاد والتقطير، لكن البعض الآخر استخدم التعاويذ السحرية فقط، أما معظمهم فقد استخدم الاثنين. كانت الجوائز عظيمة (الذهب والحياة الأبدية). وقد حاول الممارسون بكل الطرق إخفاء وسائلهم ونتائجهم، جاعلين الممارسة مفعمة بالسرية والغموض والحوادث الغريبة في أثناء الليل. وقد أدى هذا إلى جعل إدراك الناس ووعيهم بالسيميائيين أقل من جيد أما المشتغلون الآخرون بالكيمياء (المعالجون والتعدينيون والحرفيون) فقد كانوا في بعض الأحيان يتعرضون لمتاعب. غير أن السيمياء كانت تمثل الأمل للمشتغلين بالكيمياء في حيرتهم، وقد زودتهم بالحماس ليظلوا أمام النار عندما كان الخزافون والنساجون قد غادروا إلى بيوتهم.

وبالطبع فإنه، من منظورنا المستنير، قد تبدو فكرة التحول الشامل فكرة شاذة وغريبة مما يدعونا إلى التشكك في فطنة أسلافنا. ولكن إذا فكرنا بدقة في السيمياء كافتراض أول فإنها لن تكون مجافية للعقل تماما. لقد اعتقد السيميائيون في التحول لأنهم رأوا التحول في حياتهم كل يوم في الطهي وفي الصباغة وفي وظائف الجسد مثل إنتاج الفلزات من الخامات. وكانوا يعرفون أيضا التحول المذهل لخام كبريتيد الزئبق - الزنجفر (سينابار) - إلى زئبق سائل: كان تسخين الخام يطرد شيئا ما ويترك خلفه بركة من الفلز الفضي. فإذا لم تكن هذه براهين كافية على التحول، إذن يكفي أن يُسخَّن الفلز ثانية لتتحول البركة إلى جامد أحمر (مادة صلبة حمراء). ولم يكن ذلك عودة الزنجفر مرة أخرى كما كانوا يظنون، لكنه أكسيد آخر للزئبق له اللون الأحمر نفسه. وفي غيبة معلومات إضافية يصبح التحول مقبولا ظاهريا كأي تفسير آخر.

وأكثر من ذلك، فعندما كان أسلافنا الكيميائيون الأوائل يصنعون مسحوقا أصفر أو ذهبي اللون، لم تكن لديهم أي أسباب للاعتقاد بأن هذا ليس ذهبا، لذلك كانوا يقررون أنه كذلك. وعندما أصبحت تقنيات التحليل أفضل، تأكدوا أن الناتج ليس ذهبا، ولأنهم ظلوا يعتقدون لأجيال عدة أن العملية تنتج ذهبا فإنهم أخذوا يلقون باللوم على تقنيتهم الخاصة للفشل وليس الوصفة أو التركيبة.

وأخيرا يمكن تفهم الجهد المرهق غير المشكور فيما يبدو للسيميائيين إذا تيقنا من الإغراء الشديد الذي كانوا يتعرضون له كلما اقتربوا، هكذا كان يخيل إليهم، من هدفهم: فإنتاج فلز أصفر كان تقريبا إنتاجا للذهب. وتبعا لمدى فهمهم فإن المنتج قد يكون ذهباً، لكنه ليس عالي الجودة مثل المادة التي تستخرج من الأرض. وكان هناك من العاملين من يطعمون أسرهم بصناعة شبيه الذهب، الذي لم يكن إلى حد ما سيئا بحيث «يخدع حتى الحرفيين» كما كانوا يقولون[1].

التقاليد التقنية للإسكندرية:

الحرفي المجهول:

وصلت إلينا المعلومات عن شبيه الذهب لأن أحد الحرفيين قرر تسجيل

تقنيات إنتاجه على ورق البردي، ولأن الدبلوماسي السويدي الذي عثر على هذه البرديات في القرن التاسع عشر كان يملك من الحصافة ما جعله يحوزها ويشحنها إلى أوروبا للدراسة. وبعد 85 عاما من الدراسة، تيقن العلماء أن اثنتين من اللفائف تحتويان وصفا لعمليات كيميائية.

ويبدو أن البرديات كانت مكتوبة بالخط نفسه وفي نهاية القرن الثالث الميلادي تقريبا. وكانت على الأرجح منسوخة من أعمال أقدم لأنه يمكن اكتشاف الأخطاء الطفيفة المصاحبة للنسخ. أما الأصول فمن المحتمل أن تكون قد كتبت بعد 100 عام (ق.م).

تحتوي البردية الأولى أساسا على وصفات للصباغة والتثبيت وتحضير تقليد الأحجار الكريمة. ومن أجل تحضير خلات النحاس (الزنجار) وهي مادة خضراء تستخدم لصنع الزمرد الصناعي كانت الوصفة التالية. ويلاحظ أن النحاس كان ينص على أنه قبرصي، فكما أشرنا كانت المواد المستخدمة نادرا ما تكون نقية. وكانت في بعض الأحيان - المواد التي لها الأسماء نفسها - تظهر سلوكا كيميائيا مختلفا بسبب الشوائب التي كانت تحتويها، ولذلك إذا جاءت المادة الواحدة من مصادر مختلفة فإنها كانت تعالج أحيانا كمواد مختلفة تماما.

نظّف رقيقة جيدة الصنع من النحاس القبرصي بواسطة حجر خفاف وماء، وجففها ثم ادهنها خفيفا بقليل من الزيت، أفرد الدهان ثم لف حولها حبلا. علقها بعد ذلك في برميل خشبي به خل قوي بحيث لا تلامس الخل ثم أغلق البرميل بإحكام لتمنع البخر. وإذا وضعت النحاس (في البرميل) في الصباح، إذن يمكن أن تكشط الزنجار بحرص في المساء... ثم علقها ثانية حتى تستهلك تماما... والخل يصبح غير صالح [للاستخدام](2).

أما البردية الثانية فيبدو أنها معنية أساسا بالفلزات، متضمنة وصفات واقعية جدا لصنع الذهب الزائف.

صناعة الآسيم (سبيكة الفضة والذهب): خذ القصدير اللين على شكل قطع صغيرة، نقّه أربعين مرة، خذ أربعة أجزاء منه وثلاثة أجزاء من نحاس أبيض نقي وجزءا واحدا من الآسيم. اصهرها ثم نقها مرات عدة بعد صبها، واصنع بالناتج ما تشاء. فسيكون آسيما من أعلى جودة بحيث يخدع حتى الحرفيين(3).

ويمكن أن تكون هذه الوصفات قد استخدمت بواسطة أحد الحرفيين في ورشة ما، فهي عملية من دون إشارة إلى أسرار غامضة أو دون محاولة لإخفاء المحتويات، على العكس تماما من الكتابات السيميائية المتأخرة. أما

كيف أمكن الحفاظ عليها فمازال أمرا غامضا، قد يظن أحدهم أنها أخفيت في تابوت لمومياء لضمان سلامتها. وقد يكون مالكها رغب في أن يدفن مع ممتلكات ثمينة، والخطوات المكتوبة قد تكون أثمن ما يملكه حرفي.

ويمكن تتبع جذور هذه المعالجة العملية حتى أرض اليونان. إذ انتقل مركز التعليم، لفترة، من أثينا إلى الإسكندرية، لكن أثينا لم تصبح فجأة مدينة أشباح. وفي الحقيقة فقد كانت أكاديمية أفلاطون وجمعية المناقشات العامة لأرسطو نشطتين على مدى 700 سنة أخرى. وبينما كان الفلاسفة الإغريق الرحالون (الطوافون) يقومون بإعطاء الدروس الخصوصية ويخطبون في الناس ويجمعون ما يستطيعون من عطايا، فإنهم حملوا الفلسفة اليونانية الطبيعية عبر العالم الهيلّيني. إلا أن خليفة أرسطو في جمعية المناقشات العلمية نيوفراستوس (حوالى 315 ق.م) كان أكثر من مجرد فيلسوف بحت. كان ملاحظا ذكيا للكيمياء العملية كما هو واضح من وصفه لإنتاج خلات الرصاص (الرصاص الأبيض).

يوضع الرصاص في وعاء خزفي فوق خل قوي، وبعد أن يكتسب سمكا معينا من الصدأ، وهو الأمر الذي يحدث عادة خلال عشرة أيام، يفتح الوعاء ويكشط الصدأ... يطحن الصدأ المكشوط إلى مسحوق ويُغلى (في الماء) لمدة طويلة وما يترسب في قاع الوعاء أخيرا هو الرصاص الأبيض[4].

كما يصف أيضا استخدام عجينة باريس:

الحجر الذي يصنع منه الجبس بواسطة الحرق يشبه المرمر. فمتانته وحرارته عندما يبلل عجيبة جدا. ويعدّونه للاستخدام بتفتيته إلى مسحوق وصب الماء فوقه، ويقلبونه ويخلطونه باستمرار بواسطة أدوات خشبية لأنهم لا يستطيعون أن يفعلوا ذلك بالأيدي بسبب الحرارة. ويحضر بهذا الشكل قبل الاستخدام مباشرة لأنه يصبح صلبا في غضون فترة قصيرة[5].

وكان يمكن للممارسة العملية في الكيمياء أن تستمر دون تعديل إذ لم تكن الإسكندرية هي مرفأ التوقف التالي.

التصوف السكندري

وفي الإسكندرية. طفت هذه البراجماتية في بحر من المذاهب الأخرى: الأرسطية والرواقية والأبيقورية والأفلاطونية الحديثة والغنوصية والزرادشتية والميثراسية[*]، وربما كانت هناك مذاهب أخرى قد فُقدت

(*) عقيدة دينية فارسية ازدهرت في أواخر عصر الإمبراطورية الرومانية ونافست المسيحية نسبة إلى الإله ميثرا، هو النور والحقيقة وحامي البشر من الشر، أي من الظلام رمز الشيطان والخطيئة. وترمز الشمس إلى الإله ميثرا (المراجع).

أسماؤها. وكانت لليهودية والمسيحية والإسلام أهمية كبرى للكيمياء، ويمكن تتبع جذور اليهودية حتى حوالى سنة 1800 (ق.م). عندما أمر الإله رجلا يسمى أبرام ـ تبعا للروايات التقليدية ـ أن يغير اسمه إلى إبراهام (إبراهيم) في إشارة إلى منزلته الجديدة كسلف لكل الناس. وفي الواقع يعتبر كل من اليهود والمسيحيين والمسلمين أنفسهم أبناء إبراهيم، وهم أتباع الديانات الثلاث الكبرى المؤثرة في العالم الحديث. كانت أولى الحضارات الناجحة ـ العبرية ـ متطابقة في كثير من الأمور مع حضارات الجيران. وكان العبرانيون على الدرجة نفسها من الوحشية والقسوة والإقليمية. وكان امتلاكهم لناصية التقنية الكيميائية قريبا من الحضارات المحيطة بهم. كانوا يعرفون الذهب والفضة والنحاس والحديد والرصاص والقصدير وتشغيلها. ومع ذلك فقد كان للعبرانيين خصوصية مميزة هي أن إله إبراهام ـ تبعا للروايات ـ يصر على أن يكون الإله الأوحد بادئا بذلك مفهوما غير مسبوق عن التوحيد.

وقد ساعد التوحيد في ضمان استمرارية الثقافة. ذلك أن ديانة التوحيد لا ينال منها استيعابها لآلهة أو عادات أخرى. وبدرجة أهمية هذه الميزة نفسها كان إبراهام من قوم رُحَّل وكان إلهه كذلك إلها رحالا غير مرتبط بضريح أو بموقع مقدس معين، مما جعل الديانة قابلة للانتقال ومكّن الحضارة العبرية من النجاة كثقافة حتى بعد أن طُرد العبرانيون من أرضهم وشتتوا.

السيمياء في الممارسة

عرفنا مما تبقى لنا من هذه اللفائف كيف أن التراث الفلسفي الغني والثقافة العملية قدما لنا معا صورة عن السيمياء في مدرسة الإسكندرية، وأن النهج التطبيقي كان المهيمن، في البداية على الأقل.

كان الأسلوب المشترك على سبيل المثال هو محاولة جعل المادة تبدو أكثر ما يمكن شبها بالذهب بناء على النظرية القائلة إن المادة إذا اكتسبت ما يكفي من خواص الذهب فإنها ستصبح ذهبا في النهاية، وهو اتجاه يبدو معقولا. وعندما وجد أن أسطح الفلزات يمكن أن تصطبغ باللون الأبيض بواسطة كبريتيد الزرنيخ وباللون الأصفر بواسطة الكبريتيدات العديدة،

اتجه البحث لإيجاد الصبغة المناسبة لإنتاج ذهب حقيقي. وتضمنت نظرية أخرى معالجة الفلزات ككائنات حية بحيث تصل إلى الذهب في أكمل صورة، وذلك بعزل روح الذهب ونقلها إلى الفلز الأساسي. وكما كان متبعا في جميع الاتجاهات، تضمنت الطرق المستخدمة التقطير، والتسامي (تحول المادة الجامدة بالتسخين إلى غاز دون طور السائل)، والانصهار والتذوب (الإذابة) والترشيح والتبلر والتكلس (التسخين في درجات حرارة مرتفعة دون انصهار)، وهو ما يعني عادة الأكسدة (إدخال أكسجين الهواء).

الشكل (1/2) علامة حية أوربوروس الدالة على سرمدية دورة التغيرات: حياة ثم موت، فصول ، تحول (هدية من مكتبة جون. ف. كنيدي، جامعة كاليفورنيا الحكومية، لوس أنجلوس).

وقد أصبحت بعض المواد الكيميائية شائعة في ممارسة السيمياء لما لها من مقدرة على التأثير في تغير المواد. كان الزئبق (الفلز السائل) والكبريت وهو (الحجر القابل للاشتعال) من أهم هذه المواد الكيميائية. كانت مشاهدة عملية صب الزئبق على كثير من الفلزات النقية واتحاده بالفلز ليكون سبائك تحتوي على الزئبق أو مملغمات من الأشياء الأخاذة، وكانت هذه في الحقيقة طريقة معروفة جيدا لتنقية الذهب: مستخلص الذهب من الخام أو من أي تركيب آخر بالزئبق (داخل الزئبق). ويمكن طرد الزئبق بعد ذلك بالحرارة ليترك خلفه الفلز النقي.

واستخدم السيميائيون الملغمات المعدة بهذه الطريقة لصنع مظهر فضي. وعندما كانت الملغمات تعالج بواسطة الكبريتيد كانت تكتسب لونا أصفر أو كانت «تتحول» إلى ذهب.

كانت المواد الأكالة (الحاتة) تحظى بالاهتمام مثل الأحماض والهيدروكسيدات وكلوريد الأمونيوم، الذي يتحلل بالتسخين إلى الأمونيا وحمض الهيدروكلوريك الذي يهاجم الفلزات. كان السيميائيون يعتبرون الزرنيخ نوعا من الزئبق، وذلك لأنه يتسامى مثل الزئبق ويكون سبائك لينة مثل الزئبق وله كبريتيد يشبه كبريتيد الزئبق، وقد استخدمت كثيرا خاصية الزرنيخ في تلوين الفلزات. وكان الزاج (كبريتات النحاس والحديد) محل اهتمام السيميائيين ربما بسبب ألوانها. فكبريتات النحاس تكون بللورات زرقاء ومحلولا أزرق جميلا بينما كبريتات الحديد خضراء. ويمكننا الكتابة بثقة عن المواد والتقنيات السالفة بسبب الجهود التي بذلها قليلون من ممارسي السيمياء لحفظ هذه المعلومات بالكتابة. ونعني ثلاثة منهم هم: ديمقريطس الزائف (الكاذب) وماري اليهودية وزوسيموس.

ديمقريطس الزائف

حوالى سنة 100 ميلادية كتب ديمقريطس الزائف (كان ديمقريطس الأصلي فيلسوفا إغريقيا حوالى سنة 450 ق.م.) رسالة أسماها الفيزياء الباطنية (الأشياء الطبيعية والباطنية الصوفية)، وهي كتاب في وصفات الصباغة والتلوين وصناعة الذهب والفضة[6]. ومع أن من المستحيل أن نحدد كل المكونات (كانت الأسماء غير دقيقة والكيماويات غير نقية) إلا أنه استخدم المساحيق المبيضة ليلون الأسطح الملغمة لتبدو كالفضة، واستخدم الملونات الصفراء لتضفي مظهر الذهب.

ومع أن هذه الصفات مازالت عملية في أساسها إلا أننا نلاحظ أن الصوفية قد بدأت تتسل إليها، وتستلهم وصفات النظريات الإغريقية والتنجيم وتحتوي مراجع للممارسات السحرية المبهمة. وتنتهي كل وصفة بعبارة: «الطبيعة تنتصر على الطبيعة» و «طبيعة تبتهج داخل طبيعة أخرى» أو عبارات أخرى لها درجة الغموض نفسها.

ماري السكندرية

اطّرد التحول من العملي إلى الغامض في أعمال السيميائية السكندرية المعروفة باسم مريم أو ماريا أو ماري. ومع أنه لا توجد أعمال كاملة لها إلا أن الأجزاء الموجودة كافية لاعتمادها كحقيقة تاريخية. وهناك من الأسباب ما يجعلنا نعتقد أن السيميائيّات النساء لم يكنَّ شيئا غير عادي. فالإشارة المتواترة إلى كليوباترا (السيميائية وليست الملكة) موجودة، إلا أن وجود ماري فقط هو بدرجة من التيقن.

كان نهج ماري في السيمياء مزيجا من العقلاني والصوفي والعملي لكن ذكراها ترجع للأمور العملية. فقد أوجدت ماري أنواعا عدة من الأجهزة بما في ذلك الإنبيق ذو الأذرع الثلاثة وحمام الرماد الساخن وفراش الروث والحمام المائي. ومازال الحمام المائي، الغلاية المزدوجة يعرف في فرنسا باسم حمام ماري.

وتشير ماري في نظريتها بشكل متكرر إلى الطب الذي تتحول بواسطته الفلزات. وتنسب للفلزات جنسا (ذكرا أو أنثى) مبينة أن السر يمكن في «وحِّد الذكر مع الأنثى فستجد ما تبحث عنه»[7]. وهي تقول في كتاباتها إن الفضة تفصل ذلك بسهولة (ربما بالنسبة لفعل الزئبق) أما النحاس «فهو كالحصان مع الحمار والكلب مع الذئب»[8].

زوسيموس

نحن لا نعرف لماذا يختار بعض السيميائيين أن يسجلوا أعمالهم بينما لا يفعل ذلك البعض الآخر ـ قد يكون ذلك راجعا لمعرفة الكتابة أو عدم معرفتها ـ لكننا أحيانا نجد بعض مفاتيح ألغاز الدوافع الشخصية. وزوسيموس الذي عاش على الأرجح حوالى سنة 300 ميلادية قام بتوجيه كل كتاب من كتبه الثمانية والعشرين لأخته ثيوسيبيا، والتي كانت على الأرجح سيميائية هي الأخرى. ويشير في أحد الخطابات على الأقل إلى أعمالها بوصف خطوات فاشلة، قامت بها سيميائية أخرى: «لقد ضحكوا كثيرا من بافنونيا وسيضحكون منك أيضا إذا فعلت الشيء نفسه»[9].

ومن غير المعروف الآن، إذا كانت الأخت مجازية أم حقيقية. وقد تكون كتابات زوسيموس جهود محبة من أخ لمساعدة أخته في مهنتها المختارة أو مراسلات مع زميلة.

ويعتمد زوسيموس على المعلومات العملية (يقول إن من الأفضل أن تغلق أنفك في أثناء عملك مع مركبات الكبريت)، وهو يصف عمليات مثل الانصهار والتكلس والذوبان والترشيح والتبلر والتسامي، ويقوم بتقسيم مواده إلى أجسام (فلزات) وأرواح (كحولات) وأبخرة وأدخنة. لكن الغموض يزداد تغلغلا في الكتابات السيميائية مع زوسيموس: فخطوات العمل في السيمياء كانت تستبين له في الأحلام، وفي الوصف التالي لأحد أحلام زوسيموس تشير القبة إلى المكثف الزجاجي الذي يوضع عادة فوق جهاز التقطير (وهو يقتسم الاسم الإغريقي نفسه مع القبة)، أما الخمس عشرة درجة فإنها تشير إلى عمليات التقطير والصهر وهكذا.

«بينما أقول هذه الأشياء سقطت نائما ورأيت كاهنا يضحي أمام مذبح له شكل قبة. وكانت هناك خمس عشرة درجة سلم تصعد إلى المذبح. وقف الكاهن هناك وسمعت صوتا من أعلى يقول: «لقد أكملت هبوط الدرجات الخمس عشرة سائرا نحو النور. وأنا أتجدد بالتضحية متخلصا من الطبقة الثقيلة للجسد وهكذا بالضرورة أصير روحا» ولدى سماعي صوته هذا الذي وقف عند المذبح الذي على شكل قبة، سألته من يكون؟ وقد أجابني في صوت حاد بالكلمات الآتية: «أنا آيون، كاهن المقدسات، وأنا أقاسي عنفا غير محتمل...».

بعد هذه الرؤية استيقظت ثانية وقلت: «ما معنى هذه الرؤية؟»... في المذبح الذي على شكل قبة تتولف الأشياء كلها وتتفكك وتتحد وتترابط، تمتزج كل الأشياء وتنفصل... وفي الحقيقة فإن مزج وفصل الأشياء يحدث بطرق ومقاييس وأوزان دقيقة من العناصر الأربعة.

وستجد ما تبحث عنه، والكاهن، هذا الرجل من النحاس، قد غير لون طبيعته وأصبح رجلا من الفضة. وإذا كنت تود، فإنك ستحصل عليه سريعا كرجل من الذهب»(10، 11).

هيرمس مثلث العظمات

هيرمس مثلث العظمات هو واحد آخر من المؤلفين السيميائيين الأثيريين (السماويين) في هذا العصر. وما ينسب إليه من كتابات هي ترجمات إغريقية لكتابات مصرية مقدسة ترجع إلى تحوت إله الحكمة. وتبين الأجزاء التي وجدت على جدران المعابد وفي البرديات أن حوالى42 كتابا قد غطت موضوعات متباينة منها السيمياء. ومع أن مؤلف أو مؤلفي هذه الكتب لن نعرفهم أبدا فإن هذه الكتب وجدت جمهورها عندما عادت إليها الحياة بواسطة سيميائيي أوروبا في العصور الوسطى، وهي تمثل اهتماما خاصا لأنها أصول المصطلح «الفن الهرمسي» (بالإشارة إلى ممارسة السيمياء). وقد جاء المصطلح (السد المحكم) على الطريقة الهرمسية من هذا المصدر

وهو يشير إلى طريقة لتخزين جرعات سيميائية معينة على الأرجح في مخابير مغطاة بالشمع بإحكام.

ذبول مدرسة الإسكندرية

بحلول نهاية القرن الرابع الميلادي كانت السيمياء في الإسكندرية قد انحرفت تماما عن النهج المادي إلى النهج الباطني (الصوفي). وقد يكون ذلك راجعا لتأثير الفلسفات الشرقية في الإسكندرية، لكن يمكن أن يكون أيضا راجعا لسبب آخر، أبسط: فالطرق المادية لم تثمر. لم تنتج الذهب. وفي غيبة منهج تجريبي نسقي للعمل على هديه اتجه السيميائيون إلى الشيء الوحيد المتاح لهم: السحر. وفي سياق العملية تحول المستهدف من الذهب إلى روح الذهب: أصبح الهدف الجديد هو التحول الروحي للسيميائيين. وأصبحت المواد ببطء وبالتدريج أقل أهمية، حتى لم يتبق من المكونات سوى الطقوس السرية والتعاويذ. والآن يمكن للسيميائي أن يمارس مهنته من دون أن يتنفس الأبخرة أو يشعل النار. ولا يعني ذلك القول إن التقنيات المادية لم تشهد إعادة الحياة إليها، لكن لسوء الحظ فإن الإسكندرية في ذلك الوقت نفسه، عموما، كانت تعاني من انحطاط وذبول فكري.

كان هناك تحول فلسفي تدريجي. أصبحت الغنوصية مهيمنة في القرن الثاني الميلادي وساد معها الاعتقاد أن المصدر الوحيد للمعرفة هو الوحي والإلهام من الآلهة. وفي القرن الثالث الميلادي أصبحت الأفلاطونية الجديدة مهمة واقترنت بازدراء الفكر والعلم. وبالإضافة إلى ذلك، وقع حدثان آخران في السنوات الأخيرة قبل الميلاد، ولم يكن الحدثان، كل على حدة، على درجة من الخطورة لكنهما، معا، أديا إلى ركود وانحطاط الإسكندرية.

الحدث الأول: هزيمة كليوباترا آخر البطالمة، مما أدى إلى وضع المدينة تحت السلطة الرومانية. والحدث الآخر: كان بداية تعاليم يسوع الناصري في ضاحية فلسطين من الإمبراطورية الرومانية. وقد اعتنقت طائفة صغيرة من اليهود تعاليم المسيح، والتي تطورت أخيرا «إلى الديانة المسيحية المستقلة بفضل أعمال بولس الطرطوسي».

وبدءا من سنة 100 ميلادية تضافر هذان الحدثان بطريقة أنهت العصر الهيليني أخيرا.

وفي القرن الثالث الميلادي أصبح الجو السياسي قمعيا بشكل أكبر، وبلغ ذروته في الأمر الإمبراطوري ديوقليطس بالقضاء على كل الكتابات السيميائية، لأنه كان خائفا من أن يحصل منتجو الذهب والفضة على نقود كافية لتمويل العصيان.

وفي هذا الجو القمعي استمرت الفلسفات المنتشرة من فارس حتى بابل في تكريس الأفكار الازدواجية التي لا تقبل الوسط عن الخير والشر مجسدة الزهد اللانهائي والمعتقدات الصوفية (الباطنية). امتصت المسيحية هذه الأفكار، وعندما أعلن قسطنطين المسيحية دينا رسميا للإمبراطورية الرومانية (حوالى سنة 330 ميلادية) اقترن ذلك بالإجراءات القمعية. كان المسيحيون يهدفون إلى تحطيم الفلسفة الوثنية والسيمياء. فقد نهبت المعابد الوثنية والمكتبات في مصر. في الإسكندرية قامت جماعة غوغائية من الرهبان بإعدام السيدة هيباتيا ـ آخر الفلاسفة الوثنيين ـ دون محاكمة وذلك حوالى سنة 400 ميلادية. وبعد ذلك بقليل أغلق المتحف في الإسكندرية وتبعثرت مكتبته. وحوالى 500 ميلادية أغلقت الأكاديمية في أثينا وفر الفلاسفة الباقون إلى فارس. وهكذا وصل العصر الهيليني إلى نهايته.

ومع ذلك فقد كان هناك منقذ لثروة المؤسسة العلمية الهيلينية. ففي سنة 400 ميلادية انشطرت الكنيسة المسيحية بحدة حول موضوع الطبيعة الدقيقة لألوهية المسيح، وحُرم الراهب نسطوريوس من الكنيسة ففر إلى سوريا مع أتباعه وحملوا معهم كل ما استطاعوا من التعاليم الهيلينية، وأمكن حفظ وتخزين المخطوطات في أديرة هؤلاء المنشقين.

وحوالى سنة 500 ميلادية طُرد النساطرة من سوريا، فهاجروا إلى فارس ودخلوا في حماية الشاه. وهناك أسسوا مدارس على نمط الإسكندرية وترجموا أعمال أفلاطون وأرسطو وبعض كتابات السيميائيين الأوائل إلى (السريانية)، وكان من بين الموضوعات التي تدرس في مدارسهم: الفلك والتنجيم والطب والسيمياء. وكما سنرى فقد عاد علم الإسكندرية ليطفو على السطح من هذه المدارس.

وقبلت هذه المدارس السيمياء كموضوع دراسي جاد مثلها مثل الطب والفلك، لأنها ـ كما رأينا ـ كانت تبدو نظرية منطقية معقولة. وقد وجدت

إلهامها في الأحداث الطبيعية وتأكيدها في الاقتراب من النجاحات وبهذا يمكن أن يظهر السؤال: إذا كانت النظرية يمكن الدفاع عنها كما هو واضح، إذن لماذا لم يحدث هذا مع آخرين في أماكن أخرى؟ والإجابة طبعا هذا هو ما حدث.

السيميائيون الآخرون المعاصرون لفترة مدرسة الإسكندرية:

الهند والصين

طورت كل من الحضارتين الصينية والهندية ـ اللتين ازدهرتا في الفترة نفسها مع الإسكندرية ـ نظاما سيميائيا خاصا بهما. كان هناك بالتأكيد تبادل لبعض المعلومات. ومن المعتقد أن فرقا جوالة من الحرفيين (شبيهة بالغجر المحدثين) كانت تسافر من وادي الهندوس إلى تراقيا وبلاد الغال (فرنسا)[12] قبل الميلاد، لكن هذه الأنظمة كانت مختلفة عن سيمياء الإسكندرية بما يكفي لكي نستبين أن الناس أنفسهم عندما يتأملون حبات الرمل نفسها يمكن أن يصلوا إلى الأفكار نفسها مستقلين عن بعضهم. وفي الحقيقة: من المثير أن نسأل لماذا لم تطور كل المجتمعات السيمياء والإجابة التي تختلف باختلاف المجتمعات أن هذا قد يكون بسبب الطقس أو القيمة النسبية للذهب.

يمكن أن نفهم غياب السيمياء في أقصى المناطق الشمالية إذا فكرنا في الطقس: حيث كان العمل من أجل البقاء يوميا له الأولوية على التأمل السيميائي. أما أفريقيا الجنوبية فقد كانت بالتأكيد أدفأ ـ بما فيه الكفاية ـ ولم تكن تعاني نقصا في التقنية أو التنظيم الاجتماعي: بدءا من حوالى سنة 200 (ق.م) نشرت مملكة كوش صناعة الحديد في الجنوب الأوسط. لكن في هذا الوقت ـ وكما أشرنا ـ كان الذهب بلا فائدة اللهم إلا كحلي أو وسيط للتبادل، وفي الحقيقة لم يكن سكان أفريقيا الجنوبية يحتاجون إلى التجارة، فموسم النمو (النضج) ممتد طوال العام وقد مارس الأفارقة الجنوبيون الصيد وجمع الثمار مع زراعة الأرض. وكان يقال إن الحضارات القديمة في أفريقيا الجنوبية كانت تثمن الحديد أغلى من الذهب، لأنه كان أكثر فائدة في الصيد والزراعة. وبالإضافة إلى ذلك، إذا كانوا حقا يرغبون في الذهب فإنه متاح لسكان أفريقيا الجنوبية تحت وفوق الأرض. وهو ما

يعطي الإجابة عن السؤال التالي: من الذي لم يحاول إنتاج الذهب؟ إنهم من كان بإمكانهم ببعض الجهد أن يستخرجوه.

وقد تكون تلك الإجابة هي الصحيحة في أمريكا الوسطى. وقد سجل بيدرو سانشو العام 534 ميلادية وفرة الذهب في الإنكا: «كان من ضمن الأشياء الأخرى أغنام عظيمة الحجم من الذهب النقي وعشرة أو اثنا عشر تمثالا للنساء بأحجامهن ونسبهن الطبيعية من الذهب الخالص...»[13].

وقد سجل لوبيز فاز في العام 1586 «إن بنما إذن هي أغنى أراضي [هكذا] بقية الأنديز بالذهب»[14]. ولا نجد حافزا أقوى من هذا على بذل الجهد فوق مراجل تخمير الذهب.

ويصدق القول نفسه على اليابان التي هي غنية بالذهب المعدني والسطحي لكنها ليست غنية بالزئبق: المكون الدائم المتكرر في وصفات السيميائيين. كانت التحولات والتفاعلات التي نشاهدها لهذا الفلز السائل ضمن الحجج المقنعة بالتحول، وربما كان الزئبق على درجة الأهمية نفسها في تطور السيمياء كالحاجة إلى الذهب. ومع ذلك فقد كانت هناك مناطق تتحقق لها شروطنا (وفرة من الزئبق وندرة في الذهب والحافز): الهند والصين.

تمثل سيمياء الهند والصين ـ من بعض النواحي ـ عوالم صغيرة منفصلة في تاريخ الكيمياء، لكن من نواح أخرى فإنها لا تنفصم عن التاريخ العام. ويتوازى تطور السيمياء في هذه المناطق مع التطورات في الغرب تقريبا. أحيانا يتقدم عليها وأحيانا يتخلف وراءها. لذلك سنعرض هنا لهذين العلمين المتطورين بأسسهم التقنية والفلسفية وسنتتبعهما خلال زمن مدرسة الإسكندرية نفسه. وسنعود في الفصول التالية لنرى كيف يساهمان في مجمل السيمياء.

التراث التقاني الصيني

الطب هو الملهم لتطور الكيمياء، وتملك الصين مخزونا أسطوريا من الأدوية. وتتضمن بعض العلاجات بالأعشاب أو المعادن التي أخذها الطب الأوربي كلا من الحديد (للأنيميا)، وزيت الخروع، والكاولين (صلصال

يستخدم لمعالجة الإسهال)، والأكونيت (درنة تستخدم كمسكن)، والكافور، والقنب (شجرة الحشيش)، وزيت تشولموجرا (يستخدم للجذام)، أما المكون النشط الفعال للروالفيا والذي كان يستخدم في الصين كمقيئ للتطهير فقد استُخلِص ويستخدم حاليا لمعالجة ضغط الدم المرتفع وبعض الحالات العقلية.

لم يصل العصر البرونزي إلى الصين إلا حوالى سنة 1500 (ق.م)، ولم يظهر الحديد إلا حوالى سنة 500 (ق.م)، لكن مع بداية العصر السيميائي عندهم حوالى سنة 100 ميلادية، كان الصينيون على معرفة بالخارصين والنحاس الأصفر (سبيكة النحاس والخارصين) والزئبق والكبريت والعديد من الأملاح المعروفة مثل النيتر. وفي القرن الخامس قبل الميلاد قام أحد الكهنة بعمل قائمة من المواد المعروفة التي تضمنت أكسيد الرصاص وكربونات الرصاص والكبريت وكربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم المميهة وأكسيد الحديديك والنيتر والتلك أو الحجر الصابوني، وسيليكات الماغنسيوم المميهة والشب البوتاسي (الملح المزدوج لكبريتات البوتاسيوم والألومنيوم) والمالكايت (كربونات النحاس القاعدية) واللازورد وغيرها. كان الصينيون على دراية بعامل التحات المتطاير (كلوريد الزئبقيك) والكالوميل (كلوريد الزئبقوز) وكانوا يستطيعون التفريق بينهما. واستخدموا الزئبق لاستخلاص الذهب والفضة بالملغمة، وقرب نهاية العصر السكندري استخدموا مملغم القصدير مع الفضة لغرض علاج الأسنان. وقد كان لهذه الذخيرة المادية في الصين بالتضافر مع التقاليد الفلسفية ـ التي سنتفحصها لاحقا ـ الفضل في تكوين أرض خصبة لتطور السيمياء.

التراث الفلسفي الصيني

في حوالى سنة 525 (ق.م). وضع فيلسوف يسمى كونفوشيوس (النطق اللاتيني لكلمة كونج ـ فو ـ تسو أو المعلم كونج)، نظاما من القيم يحدد لكل إنسان دوره الثابت في المجتمع.

واحتفظ هذا النظام البيروقراطي المدني ـ الكونفوشية ـ بالصين متماسكة عبر الأسر الحاكمة المتغيرة والإمبراطوريات والفوران (الجيشان) الاجتماعي، واحتفظ بالصين سليمة ككيان سياسي لمدة 2000 سنة. عنيت

الفلسفة الكونفوشية بالأنظمة الاجتماعية وليس بالفلسفة الطبيعية، على الأقل ليس إلى حد بعيد. ومع ذلك، فقد برزت فلسفات أخرى كرد فعل لصرامة الكونفوشية، وكانت هذه الفلسفات معنية بطبيعة العالم.

تحمل إحدى هذه الجماعات من الفلاسفة اسما مناسبا وهو «الطبيعيون» وذهبت إلى أن العالم مؤلف من خمسة عناصر «الفلز والخشب والتراب والماء والنار»، ورأت أن جميع الجواهر المادية نتاج تآلفات هذه العناصر الخمسة. وقد استخدموا أيضا ثنائية الين واليانج. والين العنصر الأنثى هو القمر ـ السالب، والثقيل والأرضي بخواصه: الجفاف والبرودة والظلام والموت. واليانج العنصر الذكر هو الشمس ـ الموجب الفعال (النشط) الناري ـ بخواصه: (الرطوبة) والدفء والنور والحياة.

أما الطاوية فقد تكون سابقة على الكونفوشية لكنها ازدادت انتشارا كرد فعل للكونفوشية. وقد اعتنقت هذه الجماعة الفلسفية مفهوم العناصر الخمسة والين واليانج. وهم يعتقدون مثلا أن كل المعادن أو الفلزات هي في الأساس شيء واحد، وإنما تختلف فقط في كمية الين واليانج. كانت الطاوية أيضا معادية للفكر ترفض أي بحث عن المعرفة، ومدافعة ـ على الأقل في بدايتها ـ عن العودة إلى طريق أبسط للحياة. كانوا يعتقدون أن الحياة يمكن أن تمتد على مبادئ الطاوية، وقد بحثوا عن السلام وطور العمر في حياة بسيطة ساذجة نقضيها في التأملات الهادئة.

ومع ذلك فقد لحق الفساد أخيرا هذه الأفكار. فالبحث عن حياة أطول تحول إلى البحث عن الخلود وتحولت الطاوية من التأمل الهادئ إلى ممارسة السحر. وكان السر الذي يعتقدون فيه بالقطع هو طبيعة الذهب: فالذهب غير قابل للفساد وسرمدي، لذلك فإن الذين ينجحون في دمج الذهب في أجسامهم يبلغون حالة الخلود. وبدأ الطاويون البحث عن طريقة لتناول مشروب الذهب. لقد بدأوا البحث عن إكسير الحياة.

السيمياء الصينية

في البداية تلقت هذه المجهودات العون من الطبقات العليا. كانت هواجس الخلود فيما يبدو تراود أول إمبراطور في القرن الثالث الميلادي، وكان واقعا دائما تحت سيطرة أحد السحرة الطاويين. كان المال والتكريم ينهالان

ـ آنذاك ـ على المدلل الأثير لدى البلاط إلى أن تحرر الإمبراطور من الوهم ووقع أمرا بأقصى العقوبة عليه. وفي النهاية أقنع ساحر من ساحل شانتونج الإمبراطور بتعاطي إكسير مصنوع من الزئبق المحول إلى ذهب، وطبعا مات الإمبراطور في أثناء رحلة إلى ساحل شانتونج. وقد مات على الأقل إمبراطوران آخران نتيجة للتسمم بالإكسير أو للضعف والوهن الذي سببه لهما.

ويؤدي هذا إلى السؤال نفسه الذي سألناه عن السيمياء السكندرية: لماذا بقي السيميائيون على الرغم من البراهين الواضحة على عدم جدوى منهجهم (الأباطرة الميتون)؟ والإجابة تبعا للعالم جوزيف نيدهام[15]، يمكن أن نجدها مرة أخرى في نجاحهم الجزئي الظاهري. فأجساد الذين ماتوا من التسمم بالزئبق والفلزات الثقيلة الأخرى كانت تميل ببطء في تحللها، وربما يرجع ذلك إلى تسمم بكتيريا الجسم هي الأخرى. لذا فالذين ماتوا بعد تناول الإكسير يبدون كأنهم خدعوا الموت ـ ولو قليلا ـ ولذا فقد حمست هذه الوفيات استمرار البحث بدلا من التخلص من النظرية.

وربما لم تكن كل هذه التجارب المميتة من أجل لاشيء، فالسيميائيون الصينيون وجدوا بعض مركبات الزئبق رائعة في التخلص من البراغيث والقمل (كان الصابون مازال ترفا في ذلك الوقت). وينسب بعض العلماء غنى المطبخ الصيني إلى العادة الطاوية في تجربة أكل جميع أنواع المواد العضوية وغير العضوية. وكان اكتشاف مواد التخدير وقائمة الأدوية الضخمة الأخرى من نتاج هذه التجارب. وكما جاء على لسان إدوين ريزتشاور وجون فيربانك:

> يبدو أن القدر الأعظم من البحث الصيني في هذا الموضوع نبع من الأنشطة الفضولية ـ للتجريبيين السيميائيين ـ والسحرة الطاويين، وربما كان أحد الأسباب في أن المفكرين الصينيين أداروا ظهورهم بحسم في فترة لاحقة للتجريب العلمي هو ارتباطه في أذهانهم بالطاوية[16].

ويغرينا هذا بالقول إن ذلك ترك مذاقا سيئا في أفواههم.

وصدر مرسوم إمبراطوري حوالى سنة 150 (ق.م). يقضي بالإعدام العلني لهؤلاء الذين يزيفون الذهب. وفي هذا الوقت لم يكن الدافع هو الخوف من تراكم الثروة من أجل العصيان، لكن ببساطة كان الدافع هو موت الكثيرين من الناس البارزين.

ومع ذلك استمرت ممارسة السيمياء، وبحلول العام 140 ميلادية أصبح الجو العام متسامحا حتى أنه صدر كتاب صيني في السيمياء.

وي بو ـ يانج

ليس معروفا سوى القليل من المصادر المباشرة عن حياة هذا المؤلف السيميائي الأول. قد يكون (وي بو ـ يانج) من أسرة شامانية (تجيد فن السحر)، إلا أن وى بو ـ يانج يقول عن نفسه في أول أعماله «تشان تونج تشي» (نسب الثلاثة) أنه نأى بنفسه عن الخدمة الحكومية.

ومع أن «قرابة الثلاثة» في غاية الغموض إلا أن أكثر الأوصاف كشفا للغموض هي عمل مملغم الزئبق والرصاص. وفي الكتابة الآتية/ تشير عبارة النبت الأصفر إلى طبقة أكسيد الرصاص الأصفر الذي يتكون على سطح مصهور الرصاص.

منذ أول بداية ين ويانج كان خام الرصاص يضم «الشطأ الأصفر» ... «اللآلئ الآتية» [الزئبق]... عندها الميل إلى الهرب... وأخيرا عندما [هم] يحصلون على «الزهرة الذهبية» [هم] يتفاعلون معها، وينصهرون متحولين إلى عجينة بيضاء أو يتجمدون في كتلة. إنها «الزهرة الذهبية» هي التي تتغير أولا [لأن] هي تنصهر في لحظات قليلة إلى سائل [لزج]. [تندمج المادتان] معا الآن وتكتسبان منظرا غير متناسق مثل المرجان أو أسنان الفرس.

ومن هذه اللحظة فصاعدا تجيء [روح] يانج لتلحق بها، وتعمل طبيعة الأشياء بتناغم الآن. وبعد فترة وجيزة من الزمن تحدد [المادتان] في مصب واحد(17).

يقول بو ـ يانج إن أكل الذهب يعزز طول العمر، وهو يناقش عمل مشروب الذهب (مساحيق أو سوائل بلون الذهب). ومع أنه كان على دراية جيدة بطبيعة الذهب الحقيقي فقد كان يظن هو والسيميائيون الآخرون أن مشروب الذهب نوع مختلف من الذهب.

كو هونج

كو هونج الكاتب المهم الآخر الذي ألف في السيمياء، وصانع مشروب الذهب، وقد عاش بين القرنين الثالث والرابع الميلاديين، ونحن نعرف تفاصيل أكثر قليلا عن حياته. بدأ كو هونج حياته ضابطا في الجيش حيث قاتل لإخماد بعض الثورات. لكنه تنحى عن السلك العسكري وبدعم من والده

الذي ترقى حتى أصبح حاكما لشاوبينج، استطاع أن يدرس السيمياء والطب في زمرة الطلاب النابهين. وقد ارتحل ودرس النباتات والمواد المعدنية، وبالأخص في الجنوب. واستخدم علاقاته البيروقراطية ـ فيما بعد ـ ليصبح حاكما على منطقة قريبة من رواسب الزنجفر (كبريتيد الزئبق)، والذي كان يحتاج إليه في أبحاثه. وفي الطريق لتسلم منصبه خلال بعض الجبال قرر أن يتوقف لبرهة، إلا أن الأمر قد انتهى به مقيما في الجبال يكتب كتابه ويجري أبحاثه السيميائية حتى وفاته. وفي أثناء تداعي هذه الأحداث تزوج كو هونج وكانت زوجته «باو كو» هي الأخرى سيميائية، ولم يكن ذلك استثناء فيما يبدو. ويظهر عدد من النساء في الرسومات والسجلات المكتوبة عن السيمياء، كما نجد أن كو هونج يصف في أعماله عددا من النساء الخبيرات[18].

ونرى بوضوح من كتابات كو هونج أنه أيضا كان على دراية جيدة بطبيعة الذهب الحقيقي. وعندما يصف زميلا، يضع قبضة من شيء ما في الرصاص والقصدير وهما يغليان ليصنع الفضة، فإن كو هونج يضيف:

وطبعا هذه أشياء مزيفة. مثلا إذا حُكَّ الحديد بالمالكايت الطباقي (المؤلف من طبقات) (كربونات النحاس) فإن لونه يتحول إلى اللون الأحمر مثل النحاس. ويمكن تحويل الفضة لتصبح صفراء مثل الذهب بواسطة بياض البيض. ومع ذلك فإن الاثنين قد حدثت لهما تغيرات خارجية وليست داخلية[19].

غير أن كو هونج في كتابه البارز «باو فو تزو» (كتاب الحفاظ على الفيلسوف المقدس الظاهري)، يعطي وصفات لصنع الذهب من الزئبق والرصاص والمكونات الأخرى والتي كانت في معظمها مجرد رواسب صفراء اللون محتوية على الزئبق. وينسب كو هونج لهذه المخاليط عددا من الخواص النافعة، كما أنه إلى جوار الوصفات، يعطي بعض التأثيرات الفسيولوجية التي تتضمن ما يتعلق بالبصر وأعراض التسمم بالزئبق.

التراث التقاني الهندي

نحن نعرف عن التقنية الهندية المبكرة في الميتالورجيا (علم استخراج المعادن وتنقيتها ومزجها)، من المصنوعات التي وجدت في المقابر مثل الصلب في الفترة 600ـ500 (ق.م). وكذلك من عمود الحديد المطاوع قرب دلهي

والذي يرجع تاريخه إلى 1500 سنة مضت . ونستمد المعلومات عن التقنيات الكيميائية الأخرى من الكتابات الطبية فقط : الشراكا حوالى سنة 100ميلادية ، والسوسروتا حوالى سنة 200ميلادية، والفاجبهاتا حوالى سنة 600ميلادية. توضح هذه الكتابات أن الهند كانت تملك ذخيرة غنية من الأدوية (فارما كوبيا) (النباتات السامة، والملينات، ومدرات البول)؛ ومن الميتالورجيا (الذهب، والفضة، والقصدير، والحديد، والرصاص، والنحاس، والصلب، والبرونز، والنحاس الأصفر)؛ وقائمة من المواد الكيميائية العملية الأخرى (الكحول، الصودا الكاوية، وكلوريد وكبريتات الحديد والنحاس).

استخدم الهنود الكحول كمخدر، وأوقفوا النزيف بالزيوت الساخنة والقار، واستأصلوا الأورام ونظفوا الخراريج وعالجوا الناسور الشرجي، وخاطوا الجروح وأجروا استئصال الأطراف والعمليات القيصرية، وعرفوا كيف تجبر الكسور. وتعد عمليتهم تطهير الجروح بتعريضها للدخان واحدة من أوائل الجهود المبذولة لتعقيم الجراحات. وكان محرما عليهم أن يستخدموا المباضع، ولذلك كانت دراسة التشريح تجرى على جثث تُغرق في الماء أياما عدة حتى يمكن اقتطاع أجزائها بمجرد الشد. وأعطاهم ذلك فكرة جيدة عن تركيب العظام والعضلات، لكن فكرتهم عن الأعضاء (اللينة) كانت ضعيفة لأنها كانت عرضة للتحلل.

وفي السوسروتا يُنصح الأطباء بمعالجة آفات الجلد بالقلويات الكاوية ثم الانتظار زمنا يكفي لقول مائة كلمة، ثم معادلة القلويات الكاوية بحمض[20]. ولا شك في أن هذا الإجراء يسبب عذابا شديدا (غسول قلوي كاوي، فالقلويات الكاوية تستخدم لتنظيف النزيف) إلا أنه يطهر الجرح بكفاءة.

كذلك يُنصح بالقلويات الكاوية لعمل حزوز أو شقوق ولإزالة الأورام، وكانت مفضلة على الأدوات القاطعة، لأنها كانت تكوي الجرح في أثناء العملية[21].

التراث الفلسفي الهندي

هناك الكثير المشترك بين الفلسفات الطبيعية الهندية المبكرة ونظيرتها في الصين والإسكندرية واليونان. وقبل الميلاد بألف عام حددت الڤيدا

(مجموعة كتابات هندوسية مقدسة) خمسة عناصر: الأرض والماء والهواء والأثير والنور وقالت: إن الذرات المفعمة بالحياة لهذه العناصر تتحد لتصنع جميع الأشياء. ومن المحتمل أن تكون التانترية Tantrism ـ وهي نظام فلسفي اجتماعي دينى مهم يشبه بشكل ما الطاوية ـ قد بدأت تتطور بهدوء في الفترة من 100 ـ 300 ميلادية، لكنها أصبحت مؤثرة حوالى سنة 400. وجوهر التانترية هو البحث عن القوة الروحية والتحرر الأقصى من الروابط الأرضية. وتتضمن هذه الممارسات المقاطع والجمل المقدسة (مانتراس) والرسوم الرمزية واليوجا (تقنية التركيز) والطقوس السرية. وقد زودت الديانة التانترية الهند بأحد المقومات الأساسية للسيمياء والذي يضارع في أهميته عقيدة التحول شهوة الذهب وتوافر الزئبق: اللمسة الصوفية.

السيمياء الهندية

تشير «الڤيدا»(*) إلى ترافق الذهب وطول العمر، كما تظهر فكرة تحويل الفلزات الأساسية إلى ذهب في الكتابات البوذية في الفترة من 100 إلى 400 ميلادية ـ أي تقريبا في زمن ظهورها نفسه في كتابات البحر المتوسط. وقد تأكدت الممارسة الهندية للسيمياء في القرن السابع الميلادي في تقارير الرحالة الصينيين، كما أن السيميائيين الهنود من ذوي الخبرة العملية (مثل تحضير الأحماض المعدنية القوية لتحويل الفلزات بإذابتها)، كانوا موضع ترحيب في البلاط الإمبراطوري الصيني.

كان السيميائيون الهنود مثلهم مثل الصينيين مهتمين بصنع أكاسير الذهب أكثر من المال، لكنهم كانوا يرغبون في استخدام الأكاسير في الطب وليس الخلود. وقد هيأت التانترية سبلا أخرى للخلود. وهناك شواهد على أن الخبراء كانوا يعرفون كيف يلونون الفلز ويصنعون «الذهب» لكنهم لم يعيروا هذه الخبرة أهمية كبيرة. وسيظل التزام السيميائيين الهنود بالمبادئ النبيلة أمرا غير مؤكد لأنه لم تكن هناك سجلات تفصيلية حتى القرن السابع الميلادي. وتاريخ الكيمياء الهندي المبكر فقير بدرجة محبطة في معلوماته عن الشخصيات، أما فيما يتعلق بأعداد النساء اللاتي شغلن مناصب تضفي سلطة وشهرة، فقد كانت هناك ممالك على رأسها نساء،

(*) كتب الهندوس المقدسة الأربعة.

وعملت النساء محاسبات وقاضيات وحاجبات وحارسات. حتى أن بعض القبائل الهندية المبكرة كانت تسمى بأسماء النساء. وقد حاربت النساء في الجيوش (ليست مصادفة مثل جان دارك، بل كجزء من القوات)[22]. ويمكن بالدرجة نفسها أن يكون هناك نساء سيميائيات كما كان في الصين والإسكندرية، لكن هذه الحقيقة مازالت غير مؤكدة حتى الآن. ونجارجونا (التي تعني الاسم الذي يُمارس بواسطته السحر أو تحضير الأرواح) هو السيميائي الوحيد الذي استقينا منه معلومات محددة.

نجارجونا

استخدم الاسم نجارجونا على الأقل من قبل مؤلفين اثنين في الفترة من 100 حتى 800 ميلادية، لذلك فليس واضحا بالضبط أي نجارجونا هو السيميائي. وتبين ترجمة نص من السنسكريتية (اللغة الهندية الأدبية القديمة) إلى الصينية سنة 400 ميلادية، أن اسم المؤلف هو نجارجونا، الفيلسوف البوذي الذي أسس منطق مادهياميكا الجدلي وكان مرتبطا ببداية التانترية.

وروي عن هذا الشخص تحديدا المسمى نجارجونا قوله:

يمكن للإنسان أن يغير البرونز إلى ذهب بواسطة الأدوية [الكيماويات] والتعاويذ، وبالاستخدام المحنك للمواد الكيماوية يمكن للفضة أن تتحول إلى ذهب والذهب إلى فضة، وبالقوة الروحية يستطيع [الخبير] أن يحول حتى الآنية الفخارية أو الحجر إلى ذهب، [و] يستطيع حجم [معين] من سائل [محضر] من المعادن أن يغير ألف حجم من البرونز إلى ذهب[23].

وعلى الرغم من صعوبة تأريخ الأحداث في التاريخ الهندي المبكر، فإن هذه المقتبسات تؤكد ممارسة السيمياء على الأقل في هذه الفترة. ولم يكن الدارسون حديثو العهد فقط هم الذين يواجهون الصعوبات في التأريخ، فالرحالة الصيني هسوان ـ تشانج يسجل في كتاباته في القرن السابع «كان نجارجونا متمكنا بعمق من تقنيات الصيدلة حتى أنه بأكله لبعض التحضيرات استطاع أن يطيل عمره ويعيش مئات عدة من السنين، دون أن يتحلل عقله أو جسده»[24].

ويمكن إضافة غموض الكتابات التانترية إلى صعوبات التأريخ (هناك قصة عن شاعر تانتري أنشد قصيدة في ألف من الناس، لكن واحدا فقط

هو الذي فهمه). ويمكن قراءة النصوص التانترية على مستويات عدة مختلفة. اليوجية (من اليوجا) والطقوسية والجنسية والسيميائية. فمثلا، يطلق اللفظ نفسه على كل من الماس والصاعقة وعضو الذكورة والخواء والفراغ، ومن الصعب التفرقة بين التخيلات الشهوانية والتقنية السيميائية.

وللصوفية التانترية جانبها المظلم أيضا كما في صوفية الإسكندرية والصين. وقد وصف رحالة صيني حوالى سنة 600 ميلادية النساك الذين كانوا يشتهون (ينجذبون) إلى الموتى ويأكلون الجيف ويشربون من الجماجم ويأكلون البراز والقاذورات. وكان الجنس متلازما مع السادية وكانت هناك طقوس وحشية تتضمن التضحية بالإنسان وتشويهه. غير أن هؤلاء المحترفين كانوا في الأغلب من المتطرفين. وفي الحقيقة فقد لفظوا النظام الاجتماعي الهندي بصورة عامة بما في ذلك نظام انغلاق الطبقات. لكن كان لهم تأثيرهم: ففي الهند استمر فن السيمياء في التطور، لكنه انحرف من حرفة عملية في الطب إلى عالم من الانحرافات الجنسية السحرية.

بذلك يكون عندنا الآن بعض الخيوط الجديدة لنتتبعها: كيمياء الصين والهند. هذان التراثان في الكيمياء كانا مستقلين عن بعضهما في نواح كثيرة، لكن الثقافات كانت متصلة من خلال الحرب، وكانت لها بعض العناصر السيميائية المشتركة. وفي الفصول التالية، سنرى أن التبادل يزداد على مستوى العالم، ويرجع ذلك إلى التقدم في السفر والخرائط والتجارة وقوى الدمج الرئيسية المعروفة باسم الإمبراطوريات، ليس بمفهوم الإسكندرية بواسطة زوابع الفتح والإخضاع، لكن عن طريق أنظمة سياسية مستقرة استطاعت أن تتحكم وتدير شؤون مناطق شاسعة مثل الإمبراطوريتين الرومانية والإسلامية.

3 من ٢٠٠ (ق.م) إلى ١٠٠٠ ميلادية
من روما إلى بغداد

انتشرت أفكار وتقاليد الإغريق من روما إلى بغداد في الفترة من سنة 200(ق.م) حتى العام 1000 ميلادية. وعلى طول هذا الطريق، ازداد المخزون العملي للمعرفة الكيميائية، وتغيرت النظرية. لكن في النهاية وصلت النظرية في شكل مألوف إلى أبواب أوروبا.

- إمبراطورية روما
- ظهور المسيح
- اضمحلال روما
- العرب من 600 (ق.م) إلى 1000 ميلادية
- السيمياء العربية
- اضمحلال الدولة الإسلامية

روما من 200 (ق.م) حتى 600 ميلادية

يتكون الموقع الأصلي لروما من سبعة تلال: أرض مرتفعة كانت مثالية للدفاع ضد البشر الآخرين، وضد البعوض الحامل للملاريا. وسيلعب هذا البعوض دورا مؤثرا في التطور الأوروبي اللاحق للكيمياء. توحدت التجمعات المنتشرة على التلال، وحكمها ملوك حتى حوالى سنة 500 (ق.م) عندما حل النظام الجمهوري للحكم محل الملكي. وحوالى سنة 400(ق.م) تجهز الرومان لغزو إيطاليا، وبحلول القرن الثالث، كانوا يسيطرون على شبه الجزيرة.

استخدم الرومان قرطاجنة للتحكم في البحر المتوسط. وفي هذه الحرب عبر هانيبال الألب إلى إيطاليا في 15 يوما بالفيلة، وجنود المشاة والفرسان وعدة الحرب. ويروى أنه في هذا العبور استخدم الخل لتحطيم الصخور الكبيرة التي كانت تعوق العبور (بمعنى الصخور الأكبر من أن تتعامل معها الفيلة، كما يفترض). ولا يمكن أن يكون هذا هو الخل الذي نعرفه اليوم ـ خمسة في المائة محلول حمض الأسيتيك ـ لأن هذه المادة لن تؤثر في الصخور إلا إذا كان المرء يملك وقتا كبيرا (ألف عام)، وكمية كبيرة من الخل (محيطات). وقد يكون هانيبال استخدم نوعا من المتفجرات، أو يكون قد استخدم أحد محاليل الأملاح القوية والتي كانت تسمى خلا في تلك الأيام. ولا تتجمد هذه المحاليل الملحية القوية في درجة تجمد الماء العادية (ولهذا السبب نصب الملح على الطرق الثلجية لتكوين محلول الملح الذي يتجمد فقط عند درجات حرارة منخفضة). وربما صُب المحلول الملحي بين الصخور في أثناء النهار الدافئ نسبيا في الألب، وعندما تنخفض درجة الحرارة إلى أدنى حد لها في الليل، يتجمد أخيرا محلول الملح ويمتد ويكسر الصخر. إذا كانت هذه هي آلية تكسير الصخر، فإن نجاح هذه الطرق اعتمد على الحظ والوقت، ومن المشكوك فيه أن يكون هانيبال قد استخدمها بشكل روتيني خلال الخمسة عشر يوما من الزحف. لكنها إذا استخدمت بنجاح مرة واحدة، فإن ذلك كان كافيا ليدخلها كتب التاريخ. (وقد قيل أيضا إن هانيبال قد قذف بالمنجنيق أوعية تحتوي على ثعابين سامة لتسقط على ظهر سفن الأعداء، وهو الأمر الذي يبدو دراميا جدا وصعب التحقيق، وإذا كان يملك خلا من القوة بحيث يحطم الصخور، فلماذا لا يقذف هذه الأخرى بالمنجنيق على سفن الأعداء؟).

وكما حدث، فإن هانيبال تمكن من غزو روما لفترة زمنية إلى أن استخدمت روما تكتيكاته نفسها وهاجمته في وطنه أفريقيا. وعاد هانيبال مرغما إلى أفريقيا مهزوما، تاركا البحر المتوسط تحت سيطرة الرومان. أما المدن الإغريقية التي أخذت جانب هانيبال فقد أضحت مستعمرات رومانية. وعلى نمط المصريين، فقد استوعب الرومان الثقافة الإغريقية، حتى أن الرومان المتعلمين أصبحوا ثنائيي اللغة، اللاتينية والإغريقية. والظاهر أن إيقاف الرومان أضحى مستحيلا، فقد شرعوا في غزو مناطق

في جنوب أوروبا (مقدونيا واليونان والغال (فرنسا) وبريطانيا ومصر وآسيا الصغرى وفارس).

إمبراطورية روما

إن إدارة مناطق بهذا الاتساع بمجتمعاتها المكونة من العبيد والمواطنين والعامة والقرويين ـ وبجيش قوي على أهبة الاستعداد ـ كانت تمثل جهدا كبيرا على نظام الحكم الجمهوري. وقد أدى الجهد المبذول للاستقرار والمركزية إلى دكتاتورية يوليوس قيصر في سنة 40 (ق.م) ومنذ تلك اللحظة، كان تتابع الأباطرة الرومان تاريخا أخاذا من البطولة والفسوق والعبقرية والحماقة، مع كل المدى من التألق والانحلال في السلوك الإنساني. لكن مع كل ذلك، فقد كان للأباطرة شيء واحد مشترك: كان عملهم الرئيسي هو الإدارة.

كان كل إمبراطور يتعامل مع أكوام فوقها أكوام من الأوراق كل يوم. وكان من حق كل مواطن أن يقدم عريضة، وهو ما كانوا يفعلونه بشكل روتيني. كان لابد من قراءة القوانين والمراسيم والمواعيد، والتصرف فيها. وكان لابد من توزيع الجيوش وإقامة حصون لها وإمدادها بالمؤن، وقد نفع كل هذا الكابوس الإداري (الذي كان يتم من دون آلات الفاكس أو لقاءات التليفون) الرومان للتسجيل، وكذلك تم الاحتفاظ بسجلات تنويرية عن التقنية.

وكأناس عمليين، استخدم الرومان طاقاتهم في الأنظمة السياسية والعسكرية ولم ينفقوا إلا وقتا قليلا في تأمل أسرار الطبيعة. وقد استوردوا معارفهم الكيميائية من اليونان والمناطق التي فتحوها، ولم يضيفوا الكثير من إبداعهم. لكنهم مع ذلك قاموا بعمل رائع هو تصنيف هذه المعارف: وقد ظلت دوائر المعارف والخلاصات الوافية التي جمعوها معترفا بها في أوروبا حتى القرن السابع عشر.

كان لمؤلفي هذه الكتب ميزة امتلاك مناطق شاسعة، وسكان مختلفون ليأخذوا عنهم. فمثلا ارتحل ديوسكوريدس (مواطن إغريقي في الواقع) كجراح مع جيوش نيرون، وكتب قائمة أدوية تضم حوالى ألف دواء بسيط بما في ذلك الأفيون واللفاح اللذين استخدما كمخدرين في الجراحة، والتحضيرات غير العضوية مثل الزئبق وخلات الرصاص وهيدروكسيد

الكالسيوم وأكسيد النحاس. ويمثل هذا النوع من الكتابات «التاريخ الطبيعي» ذو الأجزاء السبعة والثلاثين، والذي زعم مؤلفه، بليني، أنه يحتوي على 20 ألف حقيقة مهمة مستقاة من 2000 كتاب لمائة مؤلف. ويُنسب لبليني أصل كلمة دائرة المعارف «إنسيكلوبيديا» بسبب محاولته جمع شتات المواد التي تنتمي للسكان بشكل عام، أو «إنكيكليوس بيديا». وقد جعلت مجهودات بليني منه المرجع الواقعي في الأمور العلمية حتى حلول العصور الوسطى الأوروبية.

بليني

عاش بليني في القرن الأول الميلادي، في عهد نيرون نفسه تقريبا. ولد في الغال (فرنسا)، وقدم إلى قبرص في الحملة العسكرية على ألمانيا، ثم درس القانون وكرس نفسه بعد ذلك للدراسات العلمية والكتابه. وقد ذهب بليني إلى روما بموافقة الإمبراطور فيسباسيان الذي خدم معه في ألمانيا، وتقلد مناصب رسمية متنوعة.

ومع أن بليني كتب كتبا كثيرة، إلا أن كتابه «التاريخ الطبيعي» هو الوحيد الذي احتفظ به. وسجل بليني في هذا العمل كل المعلومات التي قابلها، ولأنه لم يكن يملك آلية التحقق من صدق كل شيء، فقد سجل معظم الأشياء دون تحقق. ومن الأمثلة المعروفة جيدا وصفه لوحيد القرن والعنقاء (الفونيكس) فقد كتب عنها بالحماس نفسه الذي وصف به الأسود والنسور. وقد قيم البعض ذلك كخطأ من جانبه ـ يكاد يكون كسلا ـ لكننا نعتقد أن ظروف وفاته تدحض ذلك: فقد استسلم للأبخرة المتصاعدة من انفجار بركان فيزوف الذي قضى على مدينة بومبي، لأنه ذهب إلى الشاطئ للملاحظة المباشرة.

وقد يكون ذنب بليني هو السذاجة التي يمكن أن نغفرها له، فقد رأى بكل تأكيد ما يكفي في حياته ليجعله يصدق أن أي شيء ممكن. كذلك مع المهمة الموسوعية المملة، لابد أن نغفر له تفضيله للشروح المبهجة. كان بليني بعد كل ذلك نتاج زمانه. وقد ألف سينيكا ـ الفيلسوف الرواقي الذي قتل نفسه بأمر من نيرون ـ موسوعة لا تزيد على موسوعة بليني أهمية. وكتب سيلسيوس (اسم سنسمع به مرة ثانية)، رسالة شاملة في الطب قام بجمعها

سماعيا إن لم يكن ترجمها مباشرة عن الإغريقية. وعندما نقرأ في التواريخ الحديثة كيف استخدم هانيبال الخل في تحطيم الصخور، فإن ذلك يقلل من نقدنا لبليني.

وتعكس تقارير بليني رحلاته في بعض الأحيان. فقد كان يتحدث عن أبخرة خطرة من منجم للفضة في إسبانيا، وبالذات خطرة على الكلاب (قد يكون ثاني أكسيد الكربون هو المذنب. ومع أننا لا نعتقد عادة في أنه غاز سام، إلا أن كثافته قد تتسبب في تراكمه قرب الأرض حيث مجال تنفس الكلاب التي يمكن أن تختنق). يقرر بليني كذلك أن الغاليين ـ مواطني أوروبا الشمالية الأصليين ـ كانوا يصبغون شعرهم باللون الأحمر بواسطة الصابون. (قد يكون كل ما فعله الصابون هو إزالة القذارة عن أناس حمر الشعر طبيعيا). وقد ناضل بليني ليكون شاملا، فقد سجل عمليات تتضمن الفلزات والأملاح والكبريت والزجاج، والهاون والسناج والرماد، وتشكيلة متنوعة من الطباشير والتربة والأحجار. وقد وصف إنتاج الفحم، وتزويد التربة بالجير والرماد، والتسميد، وإنتاج الأنبذة والخل، ومختلف المياه المعدنية، والنباتات ذات الأهمية الطبية والكيميائية، وأنواع الرخام والجواهر والأحجار الكريمة. وهو يناقش بعض التفاعلات الكيميائية البسيطة مثل تحضير الرصاص وكبريتات النحاس، واستخدام الملح لتكوين كلوريد الفضة. ويعرض ورقة دليل بدائية مكونة من شريط من البردي مشبع بمستخلص من عقصة شجرة بلوط (انتفاخ على جذع الشجرة يتكون من الفطر)، يتغير لونها حال غمرها في محلول من الزاج الأزرق (كبريتات النحاس) المشوبة بالحديد.

وتبين تقارير بليني كذلك أن كل عناصر السيمياء تقريبا يمكن أن توجد في تقنية روما. عرفوا الزئبق ومملغم الزئبق مع الذهب (المستخدم لاستخلاص الذهب من رماد الملابس الموشحة بخيوط من الذهب). وكانوا يعرفون الذهب الزائف باستخدام البرونز المصبوغ بمرارة الثور للاستعمال في تيجان المسرح. لكن بليني ناقش الاختبارات التي تفرق بين الذهب الحقيقي والصناعي، ولم يكن يستخدم التعاويذ (الطرق الصوفية ـ الباطنية) أو ادعاء إنتاج ذهب أصلي. وتبين تقارير بليني كذلك أن الرومان كانوا يمتلكون ويستخدمون العديد من الصبغات العضوية وغير العضوية. وحيث

كان السكندريون يتخذون من وجود الصبغات دليلا على التحول، فإن بليني كان يذكرها كحقيقة واقعة ولا يستخلص من ذلك أي استنتاج. وقد أشار إلى استخدام ألوان النيلة والأرجوان والأبيض والبرتقالي والأخضر والأحمر والأسود بمختلف درجاتها، ويقرر أن هذه الألوان كانت تستخدم في الصور الجدارية (الجداريات) والتماثيل والسفن وفي المحارق الجنائزية للمصارعين.

وعندما كان يسجل الأمور الطبية، فإن حاجة بليني للمعرفة وحسن التمييز كانت تقف عائقا. فهو لم يكتف بتسجيل كل وسيلة ممكنة للمداواة، (فالصداع يشفى إذا لمست خرطوم فيل برأسك، ويصبح العلاج فعالا إذا كان الفيل يعطس!)لكنه كان ينصح باستعمال كل طريقة ممكنة لعلاج المرض نفسه، وكل علاج كان يبدو ذا قوة إحياء شاملة . مثلا كان يقال إن القار (القار الطبيعي الخام) يوقف النزيف ، ويبرئ الجروح، ويطرد الثعابين، ويشفي من إعتام عدسة العين(كتاراكت) وكثافة القرنية، وبقع الجذام الحرشفية والحكة والنقرس والحمى و«يفرد أهداب الجفن التي تضايق العين»[1] وإذا حُكَّ البيتومين (القار) بالصودا، فإنه يهدئ وجع الأسنان، وإذا شرب مع النبيذ فهو يسكن الكحة المزمنة، ويريح من اللهاث (ضيق التنفس) ويوقف الإسهال. ويقال إن البيتومين مع الخل يذيب تجلط الدم ويريح من القطان (ألم فى أسفل الظهر) والروماتيزم. وتستخدم كمادة من القار مع دقيق الشعير لعلاج تمزق العضلات. أما القار المحترق فإنه يكشف عن الصرع، وأما التبخير بالقار فإنه يرفع الدوالي.

وقد يكون لبعض هذه المزاعم أساس، مثل استخدام القار لوقف النزيف أو إغلاق الجروح. أما تناول القار مع النبيذ، فيمكن أن يكون النبيذ نفسه هو العامل الفعال. وحين يقال إن القار «يقضي على احتقان الرحم [و] يسرع من الطمث»[2]، وهو ما يشير إلى استخدامه كوسيلة إجهاض (ترجع فعاليته إلى التسمم العام الذي يسببه). لكن في معظم الأمور الطبية، لم يكن بليني على المستوى. وقد جُمع مؤلف عريض (شامل) عن فنون الطب بعد ذلك بقليل على يد اليوناني جالينوس.

جالينوس

كان جالينوس البرجاموسي الذي عاش حوالى سنة 150 ميلادية، ابنا

لمهندس معماري، لكن يبدو أنه لم يكن لديه خيار سوى أن يمتهن حرفة الطب. فالمدينة التي ولد فيها كان بها مزار مقدس لآلهة الشفاء. وكان الكاهن الأكبر لهذا المزار يحتفظ بجثث المصارعين، وهو الأمر الذي أعطى جالينوس متسعا من الوقت ليختبر الجروح ويحكم على تأثير العلاج الطبي فيها. وقد مَوَّل والده دراسته في آسيا الصغرى وكورينثة والإسكندرية، وعندما عاد تقلد منصب كبير الأطباء للمصارعين، وقد زاد ذلك من معارفه العملية.

بعد فترة وجيزة، ومثل باقي الإغريق الطموحين، ارتحل جالينوس إلى روما، وسرعان ما اكتسب سمعة في العلاج المبتكر، حيث لا يستطيع الآخرون. ولم يكن جالينوس متواضعا إزاء هذه النجاحات. وغادر روما عندما دخلها الطاعون زاعما أنه إنما يفر من خطب أعدائه الحسودين، وليس من الوباء. وبعد انتهاء الوباء عاد جالينوس وتقلد منصب طبيب كومودوس، ولي العهد. وقد منحته هذه الوظيفة المريحة وقتا للكتابة، وهو ما فعله.

كتب جالينوس عن دراساته في التشريح، والتي كانت على أساس الرئيسيات (رتبة من الثدييات تشمل الإنسان والقرد)، لأن تشريح الجسم البشري كان مخالفا للقانون في ذلك الوقت. كان التشريح قريبا للإنسان مع وجود استثناءات مهمة تسبب البلبلة للأجيال اللاحقة من الأتباع. كذلك كتب جالينوس عن فلسفته الطبية، فقد كان يعتقد أن الصحة الجيدة تتطلب توازنا بين الأخلاط الأربعة: البلغم، والمرارة السوداء، والمرارة الصفراء، والدم. وقد درس وظائف الشرايين والأوردة، واقترب كثيرا من التوصل إلى نظرية عن الدورة الدموية. كان لجالينوس تأثير قوي في الطب على مدى الـ «1400 سنة» التالية، وفي نهاية هذه الفترة سنعود لنسمع عنه مرة أخرى.

كان جالينوس يعتقد كذلك أن الطبيب لابد أن يكون فيلسوفا، وقد قام في كتاباته بالتعليق على تأثير اليهودية والمسيحية في الحياة الرومانية ونقد ذلك. وكان قلقه مفهوما، فقد بدأ هذا التأثير يصبح محسوسا في ذلك الوقت.

ظهور المسيحية

في البداية كان أتباع المسيح مجرد فرقة صغيرة من الفرق اليهودية،

ومن خلال أعمال بولس، وهو يهودي هلليني من الشتات، أصبحت هذه الفرقة هي المسيحية بكل نظريتها اللاهوتية الواسعة والتفصيلية. إنه بولس، من أدخل المسيحية إلى الإمبراطورية الرومانية.

وبحلول القرن الثاني الميلادي، كانت الكنيسة المسيحية تملك نظاما كهنوتيا من الموظفين ـ الأساقفة والكهان والشمامسة ـ وعموما كانت هذه الإدارة المبكرة للكنيسة معادية تماما للعلم الوثني والفلسفة. كان جزء من هذا العداء يرجع إلى موقف الرومان المضاد للعقلانية، لكنهم أيضا شعروا بحاجتهم إلى حماية الدين الوليد ضد منهج طرح الأسئلة، والذي اقترن بتعاليم أفلاطون وأرسطو. وقد علق أحد المسيحيين الأولين، إيرينوس (حوالى سنة 180 ميلادية) قائلا إن الهراطقة (المنشقين) «يكافحون لينقلوا إلى قضايا الإيمان نموذج المجادلة الخبيث الذي هو في الحقيقة صورة من أرسطو»[3]. وآخر اسمه تيرتو لليان (أواخرالقرن الثاني وأوائل القرن الثالث الميلادي) قال: «ينغمس الفلاسفة في الفضول الغبي فيما يتعلق بالأشياء الطبيعية»[4] ويطرحون السؤال الشهير المنمق: «ما الذي بين أثينا والقدس»[5] وسنرى أثر هذه المواقف مرة أخرى في أوروبا القرون الوسطى، حيث عملت على إبطاء المنهج العلمي دون أن توقفه. وأخيرا اكتسب هذا الدين الجديد الأكثر صرامة زخما في الإمبراطورية الرومانية. وهيأت صرامة بنيانه الاستقرار للثقافة التي كانت تحاول أن تدعم هيكلها المتداعي.

اضمحلال روما

بدأت روما تتفكك ابتداء من القرن الثالث، وهي العملية التي يشير إليها المؤرخون باسم اضمحلال روما، ومنذ هذا التاريخ ومازال هؤلاء المؤرخون يحاولون معرفة السبب حتى الآن. فبعض المؤرخين يرجع السبب إلى التحلل الأخلاقي العام، ومع أنه كان هناك مزيد من التحريف المؤسساتي والميل لقتل الأمهات والأخوات والألعاب الدموية التي كانت تجرى لتسلية الجمهور، والممارسات الجنسية ـ التي أقل ما توصف به أنها غاية في الابتكار ـ إلا أن معظم المجتمعات في ذلك الوقت لم تكن تتصف بالاحتشام. وينسب مؤرخون آخرون السبب إلى الإمبريالية، وما يصاحبها من صراع طبقي، والاعتماد على العسكرة. وكبرهان على ذلك فإنهم يسوقون مصرع

12 إمبراطورا متتالين في أحداث عنف على أيدي الجنود أنفسهم الذين نصبوهم على العرش. ومن وجهة نظرنا الكيميائية فهناك نظرية أخرى تحظى باهتمام خاص، إنها النظرية القائلة إن أباطرة فترة الاضمحلال كانوا يعانون من تسمم الرصاص(6).

وفي الحقيقة تمثل سهولة الاستثارة أحد أعراض التسمم بالرصاص. ومن واقع نوعية وعدد العقوبات الكبرى، يمكن إقامة الدليل على أن هؤلاء الأباطرة كانوا سريعي الغضب. ومن الحقائق أيضا أن الرومان كانوا يستخدمون قديما الرصاص في شبكات المياه وأوعية الشرب، وكانوا يضيفون الرصاص إلى النبيذ ليمنعوا فساده. (يتسبب تراكم الخل، حمض الأسيتيك، في فساد النبيذ، ويكون الرصاص ملحا مع أيونات الأسيتات). وعلينا أن نحترس بعض الشيء قبل أن نقر نظرية اضمحلال الإمبراطورية الرومانية نتيجة التسمم بالرصاص، فقد تعرف، على الأقل، بعض الرومان على أخطار الرصاص، ومن المحتمل أن يكونوا قد حدوا من تعاطيه. فمثلا، لاحظ المعماري، فيتروفيوس، سوء الحالة الصحية وشحوب العمال العاملين في مجال الرصاص. ونصح باستخدام أنابيب خزفية لنقل الماء، لذلك فإن من المحتمل أن يكون السبب، إذا استخدمنا مصطلحات واقعية: عدم ملاءمة القادة للضغوط الخارجية والداخلية المقابلة لتحديات التغيير.

ومهما كان السبب، فقد انقسمت الإمبراطورية إلى اثنتين في أواخر القرن الرابع، النصف الشرقي، الإمبراطورية البيزنطية، التي تمكنت من الصمود، بشكل أو بآخر، لألف سنة تالية، لكن الإمبراطورية الغربية، غرقت في فوضى تحالفات أزمنة الحروب ضعيفة التماسك. وفي القرن الخامس سحقت بواسطة عطيل الهوني ونهبت روما نفسها على أيدي القوطيين الهمج.

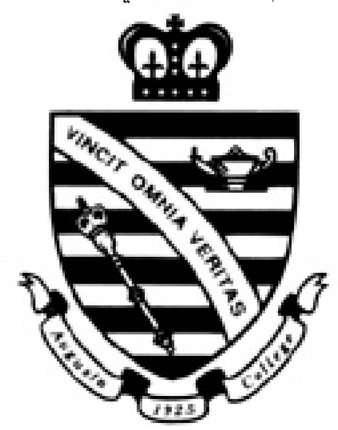
وقد كافح الإمبراطور جوستنيان في الشرق خلال القرن السادس ليحمي ما تبقى من إمبراطورية روما العتيقة، فأقام أسوارا على الفكر: أغلق مراكز التعليم المتبقية في أثينا، وحطم كل الأيقونات الوثنية. وقد حط من قدر اليهود في السلم الاجتماعي، وقيد حريتهم في ممارسة العبادة. وتخلص من النساطرة والقائلين بالطبيعة الواحدة للمسيح (الهراطقة الذين يرفضون تقبل علاقة الإله الأب مع الإله الابن، والتي وصفتها الكنيسة الجوستنيانية). وقد طردهم من الإمبراطورية، وبهذا العمل الأخير فإنه قد قام في

الواقع بالحفاظ على بعض الثقافة الهيلينية. فعندما فر هؤلاء الهراطقة ووجدوا ملاذا لهم في فارس، فإنهم كانوا قد أخذوا معهم التعاليم الإغريقية. وهذا هو الأثر الذي سنتبعه فيما بعد.

العرب من حوالى 600 إلى 1000 ميلادية

تروي التوراة في قصتها عن إبراهيم أن جارية مصرية تدعى هاجر حملت منه، ولما كانت سارة، زوجته، قد رزقت ابنها، فقد طلبت من إبراهيم أن يبعد هاجر بعيدا. هامت هاجر والطفل في الصحراء، ولكنهما تمكنا من النجاة. وتبعا للشريعة الإسلامية، فإن الابن، إسماعيل، قد أسس فرعا خاصا به: العرب. ومن هذا الفرع، وحوالى سنة 570 ميلادية، جاء نبي الإسلام محمد بن عبدالله [صلى الله عليه وسلم].

انتصر النبي محمد ووحد القبائل في هذه المنطقة أخيرا، وحول كل المزارات الوثنية إلى الإسلام. وعندما تُوفي محمد [صلى الله عليه وسلم]،



استمر من جاء بعده من الخلفاء في هذا الاتجاه.

الشكل (3 ــ 1) يُرى تأثير الإمبراطورية الإسلامية القديمة في كل مكان في العالم الحديث. فمصباح التعلم الذي يُشاهد على درع كلية أوجوستا في أوجوستا جورجيا في الولايات المتحدة، ترجع أصوله إلى الحضارة العربية.

وقد أصبح الفتح هو منهاج الحياة لأتباع الإسلام، المسلمين. حتى أنه بين 640 و720 ميلادية، فُتحت مصر وفارس وسوريا وشمال أفريقيا وإسبانيا

على أيدي العرب. وفي غضون مائة عام من وفاة محمد امتدت الإمبراطورية الإسلامية من الهيملايا حتى البرانس.

وهناك العديد من الأساطير التي ترافقت مع بناء الإمبراطورية الإسلامية، واحدة تقول إنها كانت عدوانية تماما، لكن، ومع ذلك، فقد استسلمت الإسكندرية دون قتال، ربما مفضلين بذلك المسلمين على حكامهم البيزنطيين.

واعتقاد آخر، وهو على الأغلب المفهوم الخاطئ المسيطر، هو أن العرب كانت لهم خطط فيما يتعلق بأوروبا. ولكن لا يوجد أي دليل على أن العرب كانوا يرغبون في احتواء أو دمج أوروبا.

والجيش العربي الوحيد الذي غامر فيما وراء إسبانيا، كان هناك بدعوة من حاكم أوروبي كان يحاول أن يسجل ميزة شخصية. كان العرب لا يحبون مناخ الشمال الأوروبي الذي كان أبرد بكثير من مناخ البحر المتوسط، ولم يكن هناك مطمع في ريع أو دخل يمكن الحصول عليه من قوم يناضلون من أجل لقمة العيش، وكانت فكرتهم عن الأوروبيين أنهم متخلفون، وكان العرب عازفين على الأرجح، بحكم ممارساتهم الصحية العامة، أو عدمها. بذلك تكون إسبانيا هي المحطة التي توقف فيها الفتح العربي. وقد أصبح هذا الموطئ ذا أهمية خاصة فيما بعد بالنسبة لتاريخ الكيمياء: فقد فتح أوروبا على تعاليم العرب والإغريق والشرق.

المذهب الفكري الإسلامي

كان المسلمون مفعمين بالحياة أنقياء، وكانوا أناسا تواقين متحمسين للفكر. تتطلب الديانة الإسلامية من الأشخاص أن يفهموا القرآن من أجل أنفسهم، لذلك فإن معرفة القراءة والكتابة كانت منتشرة (على عكس الكنيسة الرومانية المسيحية، التي اعتمدت على فهم الإنجيل بواسطة رؤساء الكنيسة، وهو ما يعني أن رجال الدين فقط هم المطلوب منهم معرفة القراءة). وقد ترجم هذا التشديد على القراءة والكتابة إلى الاهتمام بكل الحرف الفكرية، بما في ذلك السيمياء والتقنية الكيميائية، وقد اكتُسبت المعرفة من العلماء والمدارس والمكتبات في البلدان المفتوحة. غير أن بعض المعارف قد اكتسبت بطرق أقل راحة.

النار الإغريقية

تعرف العرب لأول مرة السلاح على الحارق والذي يسمى النار الإغريقية عندما استخدمه ضدهم البيزنطيون. وفي الحقيقة، يمكن أن يكون ذلك هو العامل القوي الذي منع سقوط القسطنطينية وحافظ على الإمبراطورية الرومانية الشرقية. كانت النار الإغريقية سائلا لزجا يُرشّ بواسطة آلات تشبه المضخات على السفن المهاجمة، كان هذا السائل يشتعل بعنف عند ملامسته للماء. وقد كانت مكونات هذه النار من أسرار الدولة لا يعرفها إلا الإمبراطور البيزنطي وأسرة كاللينيكوس.

ومازال التركيب الدقيق غير معروف، لكن يمكن استنتاجه من واقع الخواص المسجلة عن هذه النار. كان في الأغلب يتكون من خليط ذاتي الاشتعال مثل الجير الحي في قاعدة بترول. والجير الحي هو مادة غير نقية تتكون من أكسيد الكالسيوم الذي يُحصل عليه بتسخين الحجر الجيري أو الأصداف الجيرية. وعندما يتحد هذا الجير الحي مع الماء تتولد كمية كبيرة من الحرارة، فإذا تعرض مخلوط من الجير الحي والبترول للماء، فإن الحرارة يمكن أن تشعل البترول.

وكانت الأشياء الوحيدة المفترض أنها فعالة تجاه إطفاء النار الإغريقية هي الرمل والبول والخل. و«الخل» هنا قد يعني على الأرجح محلولا ملحيا قويا، يكون قشرة بعد البخر تطفئ اللهب بعزله عن الأكسجين. أما «البول»، فيعني كذلك بعض أنواع من المحاليل المركزة مثل تجمعات البول القديمة التي تعرضت للبخر والتي قد تحتوي على رواسب كثيرة. والبول الطازج لا يمكن أن يؤثر لأن معظمه ماء، ولأنه لا يوجد على الأرجح متطوعون كفاية لتطبيق الفكرة.

لم تكن مثل تلك الأسلحة الكيميائية جديدة في العالم، فالمدن المحاصرة كانت تلقي ببواتق من الكبريت والإسفلت والقار المشتعل على الجنود منذ القرن الثالث الميلادي. وقد استخدم الآشوريون والإغريق البيلوبونزيون سائل البترول، أو النافثا من آبار البترول مع القار المشتعل والكبريت. ولم تكن آلية الاشتعال هي الأخرى جديدة. فقد سجل بليني أن الجير الحي عندما يخلط بالبترول أو الكبريت يشتعل لحظيا إذا بُلِّل بالماء. وقد يكون مثل هذا الخليط قد استخدم، كالسِّحر، لإشعال المصابيح في المزارات والأضرحة بدءا من القرن الثالث الميلادي. وربما كان اختراع المعماري في

القسطنطينية ينصب على آلية قذف النار الإغريقية بما يشبه المضخات. وبذلك فإن الأمر يُعدّ انتصارا للهندسة الكيميائية والكيمياء معا.

وعلى أي حال، فقد تعلم المسلمون الحيلة. وواجه الأوروبيون النار الإغريقية في أثناء قتالهم للمسلمين في الحملات الصليبية على سوريا ومصر، ودارت الأيام، بحيث أصبح الاختراع موجها ضد مخترعيه، وربما يكون قد استخدم في حصار القسطنطينية في القرن الثالث عشر الميلادي. وقد اختفت النار الإغريقية ولم تعد تستخدم بهذا الشكل بعد سقوط القسطنطينية سنة 1453، لكن الأسلحة الكيماوية الحارقة وغيرها ما زالت معنا، وستطفو على السطح مرة أخرى.

السيمياء العربية

على الرغم من التعامل مع العرب بالنار الإغريقية فإنهم انتصروا وبدأوا في استيعاب وخزن معارف الأمم التي أصبحت تابعة لهم. وأصبحت بغداد المركز الفكري المتقدم لأوروبا وآسيا وأفريقيا، وقد قامت باستضافة المتعلمين من جميع الأنحاء ليقوموا بالتعليم في البلاطات العربية. كان ضمن هؤلاء علماء هندوس وأطباء وكتبة، ولأن الهند كانت تتبادل إلى حدٍّ ما مع الصين (يبجل التانتريون 18 ساحرا- سيميائيا منهم على الأقل اثنان صينيان)، فإن الاتصال بالمعرفة الهندية كان يعني الاتصال إلى حدٍّ ما بالمعرفة الصينية كذلك. كانت إحدى المعلومات على وجه التحديد قد انتقلت إلى العرب ثم أخيرا، كما سنرى، إلى الغرب، وهي صيغة مخلوط متفجر أصبح يعرف باسم البارود. كان هذا المخلوط من نترات البوتاسيوم (النيتر) والكبريت والكربون ينفجر لأن المواد الصلبة تتفاعل عندما تشتعل لتكون غازات (ثاني أكسيد الكربون ونيتروجين وثاني أكسيد الكبريت)، تشغل حجما أكبر بكثير من المواد الصلبة عند البداية، ويحدث التمدد سريعا جدا.

وساند الحكام المسلمون العلماء اللاجئين من الإسكندرية، وقد حصلوا على ترجمات عربية لأعمال أفلاطون وأرسطو وجالينوس وديموقريطس الكاذب وزوسيموس وآخرين. وبهذا الشكل احتك العرب بالخبرة العملية للسيمياء وجعلوا منها علما عربيا في وقت قصير. كانت المساهمة الرئيسية للعرب في السيمياء هو التخفيف من (النزعة الصوفية) والتعامل بطريقة

أقرب إلى الاتجاه العملي للسيميائيين السكندريين الأوائل. وربما شعر العرب بأنهم غير مجبرين على استخدام السحر للوصول إلى النتائج لأنهم كانوا يهتمون بسير العمليات اهتمامهم بالأهداف نفسها. وأيا كانت الأسباب، فإن السيمياء التي ورثتها أوروبا أخيرا (من العرب) كانت تستخدم طرقا واقعية تماما.

افترض السيميائيون العرب، ربما معتمدين على الخواص الأرسطية للعناصر، أن كل المواد لها طبائع ـ مثل الحرارة والبرودة والجفاف ـ وكانت مهمة السيميائي هي تحضير الطبائع النقية وتعيين النسب التي تدخل بها في تركيب المواد، ثم إعادة اتحادها بالكميات المناسبة لتعطي النواتج المطلوبة. فمثلا تعطي بعض المواد العضوية بالتسخين غازات ومواد قابلة للاشتعال وسوائل ورماد. وكانت هذه تؤخذ على أنها تقابل الهواء والنار والماء والأرض ـ العناصر التي لابد أن توجد في المادة الأصلية. وقد قُطر كل مكون من هذه المكونات على حدة لعزل الطبيعة النقية للعنصر: الحرارة والبرودة والرطوبة والجفاف. «البرودة» عزلت بكد وجهد كبير، بتبخير الماء حتى الجفاف مع التقطير عشرات إلى مئات المرات. وكان الناتج «مادة نقية بيضاء [والتي] عندما تلامس أقل درجة من الرطوبة، تذوب وتتحول مرة ثانية إلى الماء»(7)، كانت ـ من دون شك ـ بقايا الأملاح التي كانت ذائبة في الماء الأصلي غير النقي. (وهذه الأملاح الذائبة هي المسؤولة عن بقع الماء التي تتكون على الأطباق التي تترك لتجف في الهواء). لكن هذه البقايا كانت تؤخذ من قِبَل السيميائيين على أنها برهان على صحة النظرية.

وتتضح خصائص السيمياء العربية في أعمال الشخصيات التالية والتي يعرفون بها. ومع أن الوجود الحقيقي لبعض هذه الشخصيات كأفراد محل تساؤل، إلا أنهم كانوا مؤثرين تاريخيا كمؤلفين: فقد كانت سجلاتهم المكتوبة بوضوح كافٍ هي الأساس الذي بنيت عليه السيمياء الأوروبية.

جابر بن حيان

افترض جابر الذي كان يذكر بأرسطو أن هناك هواءين: «الدخان الأرضي» (جسيمات صغيرة من الأرض في طريقها لتصبح نارا» و «البخار المائي» (جسيمات صغيرة من الماء في طريقها لتصبح هواء). وقد امتزج

هذان الهواءان في اعتقاده ليصيرا فلزات. لكن جابر عدَّل من طريقة أرسطو بافتراض أن الهواء يخضع لتحولات وسيطة إلى الكبريت والزئبق قبل أن يصبحا فلزا. وكان يعتقد أن السبب وراء وجود أنواع مختلفة من الفلزات هو أن الكبريت والزئبق لم يكونا نقيين دائما. وافترض أنه إذا أخذت النسب المضبوطة من الكبريت والزئبق بدرجة النقاوة المناسبة فإنه يمكن إنتاج الذهب.

وكسيميائي عربي، كان جابر يثق في قيمة التجريب، لكنه لم يستطع التخلص تماما من التأثيرات الباطنية (الصوفية) التي كانت مسيطرة في تلك الأيام. ومجموعة المؤلفات المنسوبة إلى جابر مكتوبة بأسلوب ممعن في الصوفية، إلا أن الطرق القياسية للتبلر والتكلس والذوبان والتسامي، والاختزال كانت تناقش بوضوح مثل العمليات المتنوعة لتحضير الصلب وصبغة الشعر. ومع أن جابر يحتمل أن يكون قد كتب بنفسه بعض الأعمال، إلا أن كل الأعمال المنسوبة إليه لا يمكن أن تكون قد أنجزت بمجهود شخص واحد، وربما تكون هذه الأعمال هي الأعمال المُجمَّعة لجمعية سرية تُسمى إخوان الصفا. وبالإضافة إلى ذلك فإن الكتابات يبدو أنها قد اكتملت حوالى سنة 1000 ميلادية، بينما الشخص الذي كان يعرف بجابر كان قد مات في القرن التاسع، وقد كُتبت الأجزاء المختلفة للأعمال بأساليب مختلفة كما يحدث مع المؤلفين المختلفين. وقد نسبت لاحقا بعض الكتب اللاتينية إلى جبير، وهو الشكل اللاتيني لجابر، ولم يكن لهذه الكتب مقابل في اللغة العربية، وقد كُتبت على الأرجح بعد العام 1100.

أبو بكر محمد بن زكريا الرازي (رازيس)

لابد أن يكون أبو بكر محمد بن زكريا الرازي ـ الشخصية الأكثر مادية ـ من أسرة غنية لأنه كان قادرا على دراسة الموسيقى والأدب والفلسفة والسحر والسيمياء. كما درس الطب أيضا على يد يهودي اعتنق الإسلام. وقد كتب بغزارة في الطب والعلوم الطبيعية والرياضيات والفلك والفلسفة والمنطق واللاهوت والسيمياء. وكان يقال إنه رجل له رأس مربع كبير ، وكان إذا جلس للدرس أجلس تلامذته أمامه مباشرة، ثم أجلس تلامذتهم خلفهم، ثم أجلس التلامذة الآخرين في آخر الجلسة، أبعد ما يكون عنه . فإذا طرح

أحدهم سؤالا كان يوجهه للصف الأخير الأبعد ، فإذا لم يحظ بإجابة كان ينتقل بالسؤال للصف الأقرب وهكذا حتى يصل إلى الرازي .

نظرا لاتساع الإمبراطورية الإسلامية فإن العرب عرفوا واستخدموا مواد كيميائية من المواد الموجودة فى الطبيعة، أكثر بكثير مما فعل الكيميائيون السكندريون. وفي كتابه السيميائي المهم، «سر الأسرار»، يسجل الرازي المعلومات ويقسم الكيماويات تبعا لأصلها (حيوانية، ونباتية ومعدنية أو مشتقة من كيماويات أخرى)، ويقسم المعادن إلى ست فصائل (امتدادا لتقسيم سابق بواسطة زوسيموس)، فهناك أجسام ـ فلزات (مواد قابلة للانصهار ويمكن طرقها)، وأرواح ـ الكبريت والزرنيخ والزئبق وكلوريد الأمونيوم (مواد تتطاير في النار)، وأحجار ـ الماركازيت والماغنيسيا (مواد تنفلق أو تتحطم إذا طرقت)، والزاجات ـ الكبريتات (مركب يذوب في الماء مكون من فلز وكبريت وأوكسجين)؛ والبورات ملح الصوديوم مع البورون الموجود في الطبيعة، والنطرق (كربونات الصوديوم الموجودة في الطبيعة)، ورماد النبات والأملاح ـ الملح العادي (كلوريد الصوديوم، ملح الطعام) والبوتاس (كربونات البوتاسيوم من رماد الخشب)، والنيتر(نيترات البوتاسيوم والصوديوم).

وقد اعتمد الرازي ـ كإنسان منطقي ـ على الحقائق التي يشاهدها أو يستطيع التحقق منها، وتجنب بشكل شبه تام الصوفية الباطنية . فمثلا، الوصفة التالية للمياه الحادة (القاسية)، وهي محلول الصودا الكاوية القوي، واضحة ويمكن تنفيذها في أي مختبر عام للكيمياء اليوم.

خذ أجزاء متساوية من القلي المتكلس [كربونات الصوديوم] والجير غير المطفأ [أكسيد الكالسيوم]، وصب عليه أربعة أمثالها من الماء واتركها 3 أيام. رشح الخليط ثم أضف مرة أخرى القلي والجير في حدود ربع المحلول المرشح. كرر ذلك 7مرات.

صب ذلك في نصف [الحجم] ملح النشادر المذاب [كلوريد الأمنيوم]. احفظه بعد ذلك؛ فهو للحقيقة أقوى ماء حاد [قاس]. وسيذيب هذا الماء الطلق (التلك) (الميكا) لحظيا[8] .

ومن الطريف أن الرازي قد اختار مصدرا منطقيا لمبادئه الأخلاقية، فقد رفض التدخل الإلهي كلية بناء على فلسفته الدينية واحترافه للسيمياء.

ولم يكن يجد أي قيمة للمعتقدات الدينية التقليدية ، وكان يقول إن هذه المعتقدات كانت السبب الرئيسي للحرب، ولأنه كانت له هذه القناعة، ومازال يعمل بحرية في المجتمع الإسلامي، فإن الثقافة الإسلامية كانت على هذه الدرجة من التسامح.

علي الحسين بن سينا (ابن سينا)

كان ابن سينا واحدا من أكثر المؤلفين المسلمين غزارة وتأثيرا في زمنه . وكان طبيبا فارسيا، عاش حوالى سنة 1000ميلادية، وكان يحضر أدويته الخاصة ويبحث في صناعة الذهب السيميائي كذلك. وكانت هناك ثلاثة أسباب لهذا المدى من الإنجازات: طاقته الطبيعية الخاصة، وتدريبه المبكر، وخبرته العريضة، مع أن هذا السبب الأخير جنى عليه لسوء الحظ.

وكطفل، كان مبكر النضج، ذا ذاكرة قوية للأعمال الأدبية، وفقد دفع به والده المحب للعلوم إلى الفلسفة والعلم. فدرس ابن سينا الشريعة الإسلامية والطب والميتافيزيقا. واكتسب شهرته كطبيب مقتدر في أثناء شبابه، وسُمح له بدخول المكتبة الملكية للأسرة الحاكمة لأنه عالج أميرا مريضا بنجاح.

عُزلت الأسرة الحاكمة في نهاية المطاف، وأصبح ابن سينا طريدا، لكنه وجد أخيرا بلاطا يقبله في وظيفة طبيب ويعينه وزيرا مرتين. ولكن هذه الوظيفة كانت شؤما عليه، لأنها عرضته للدسائس السياسية. وكان على ابن سينا أن يختبئ من حين لآخر، حتى أنه سجن في إحدى المرات. وعلى الرغم من الاضطراب السياسي من حوله، فإن ابن سينا كان يوفق في الاستمرار في إنجاز أعماله. كان يقال إنه كان يقوم بواجبه كطبيب وكإداري في أثناء النهار ثم يدخل في نقاشات صاخبة مع تلامذته في أثناء الليل . وحتى في السجن، فقد استمر ابن سينا في الكتابة، وعندما عُزل راعيه، دخل ابن سينا السجن، ثم اضطر أخيرا إلى الفرار ، وقد وجد أخيرا هو ومجموعة صغيرة من أتباعه بلاطا آخر حيث استطاع أن يكمل أعماله. ولسوء الحظ ، فقد كان جزء من واجبات ابن سينا في البلاط الجديد هو آن يرافق راعيه في ميدان القتال . وسقط ابن سينا مريضا في إحدى هذه الرحلات، وتوفي على الرغم من محاولاته بنفسه للشفاء.

و أنتج ابن سينا كما يثير الإعجاب من الأعمال في أثناء حياته. وألف

رسائله التي يصل عددها إلى 200 رسالة ، عن الطبيعة المعدية للسل ، ووصف ذات الجنب ، والعديد من أشكال الأمراض العصبية المختلفة، وأشار إلى أن المرض يمكن أن ينتشر عن طريق تلوث والماء والتربة. وككيميائى ، فإن ابن سينا قسم المعادن إلى أحجار ومواد قابلة للانصهار وكبريت وأملاح . و رفض النظرية القائلة إنه يمكن معالجة الفلز بالإكسير ليصبح ذهبا . وكان يعتقد أنه إذا كان التحول ممكنا بأي شكل ، فإن الفلز يمكن أن يتفكك إلى مكوناته ويعاد جمعه. وإنجازه الكبير «القانون في الطب» هو موسوعة ممنهجة مبنية على قراءته للأطباء الإغريق من عصر الإمبراطورية الرومانية ، وللأعمال العربية الأخرى ، وبدرجة أقل على معرفته الإكلينيكية الشخصية (فقدت مذكراته في أثناء سفرياته وترحاله). وقد كان «القانون في الطب» مرجعا طبيا للعرب ثم للطب الأوروبي على مدى الـ «500» سنة التالية. وعندما زال مجده وشهرته مثل جالينوس عاد ثانية إلى أوروبا في القرن السادس عشر وهو الحدث الذي أعاد صياغة تاريخ الكيمياء مرة أخرى.

اضمحلال الدولة الإسلامية

وجد العرب وحدتهم وإلهامهم في الإسلام، وبنوا إمبراطورية مؤسسة على قوة الإسلام. وجمعت الإمبراطورية الإسلامية المعارف الإغريقية واللاتينية والهندية والصينية، واستوردت السيمياء والتقنية الكيميائية من المناطق التابعة لها، وبسبب توقهم للمعرفة والعلوم قام العرب بتوسيع أساسيات هذه المجالات وجعلوا من السيمياء شيئا واقعيا مرة أخرى. لكن أخيرا بدأت الإمبراطورية الإسلامية في الخضوع للقوى التي تذكّر بتلك القوى المسؤولة عن انحدار الإمبراطورية الرومانية. كان هناك انفصال تدريجي: في العام 700، أعلن أمير عربي استقلال إسبانيا عن الخلافة، وبعدها انفصل العرب المصريون كذلك. وقد قام المغول والهونيون بغزو الإمبراطورية الإسلامية متزامنين مع القرص المزعج والغامض لبعوضة أخرى: الصليبيين. ومع أن العرب استمروا في المساهمة في الكيمياء على مدى القرون التالية (في الحقيقة وحتى العصور الحديثة، فمثلا الحاصل على جائزة نوبل 1990 في الكيمياء عربي ـ أمريكي). إلا أن راية التميز كانت قد انتقلت من أيديهم.

4

من حوالى سنة ١٠٠٠ إلى ١٢٠٠ ميلادية السيمياء تنتقل من الشرق إلى الغرب

- أوروبا الغربية من حوالى 1000 حتى 1100 ميلادية
- الحملات الصليبية
- المترجمون
- اضمحلال التأثير الإسلامي
- الموسوعيون
- المدرسيون (السكولائيون)

مع أن العرب بدأوا مسيرتهم من مكة في القرن السابع، إلا أن وصول المعرفة العربية المتضمنة للتقاليد السيميائية إلى أوروبا لم يحدث إلا في القرن الثاني عشر. كانت المشكلة الرئيسية هي عدم وجود بنية تستقبل هذه المعرفة. وعندما تهيأت البنية، فإنها جاءت من جهة طيبة، ومعارضة: الكنيسة المسيحية، والتي بزغت أخيرا كقوة استقرار في أوروبا، وأصبحت الأديرة مراكز للمعرفة. لكن آباء الكنيسة شجعوا فقط المعرفة الدينية، مبدين عدم ثقتهم في العلوم الدنيوية والفلسفة، مؤمنين بأن مثل هذه المباحث ستسلب من الدين الإيمان الذي لا يرقى إليه الشك.

ومع الزيادة المفاجئة في التطور الحضري في القرن الثاني عشر، انتقلت مراكز المعرفة من الأديرة إلى المدن، مع إنشاء جديد للجامعات. ومع أن

الأكاديميين الأوروبيين في هذه الجامعات كانوا لايزالون منسحقين قليلا، في مواجهة المعارضة الكنسية، إلا أنهم بدأوا في دراسة النصوص المترجمة حديثا، من العربية والإغريقية في الرياضيات والفلسفة والفلك والطب والسيمياء. وقد استُوعبت المعلومات أخيرا عن طريق أعمال هؤلاء الأكاديميين: قام الموسوعيون بجمع المعلومات في وموسوعات (دوائر معارف)، والسكولائيون (المدرسيون) بمناقشة المعرفة في سياق الكلام الإلهي الديني، والتجريبيون باختيار المعلومات الجديدة.

أوروبا الغربية من حوالى 1000 حتى 1100 ميلادية

كان اضمحلال الإمبراطورية الرومانية متبوعا بفترة من الفوضى والتشرذم والغزو من قبل السلتيين والقوطيين الغربيين والواندالين. وفي هذه الفترة أخذت الكنيسة المسيحية على عاتقها الكثير من وظائف الإمبراطورية، والتي تضمنت إدارة القضاء وتدوين االسجلات، والأهم في كل ذلك حفظ المعلومات. كان تنظيم الكنيسة المسيحية بسيطا في البداية، ولكن تحت تأثير الديانات الوثنية بدأت تنمو الطقوس وأصبح توافر نظام هرمي للقساوسة المحترمين والبطاركة والأساقفة، ضروريا لإدارة شؤونهم. وقد أصبح أسقف روما مهما بصفة خاصة، لأن شاغل هذا المنصب سيصبح أخيرا بابا للكنيسة الكاثوليكية الرومانية. ولم يكن الإمبراطور البيزنطي يعترف بذلك، بل حتى لم يكن كل واحد في أوروبا الغربية يعترف بذلك هو الآخر. وساعد أمران في تقوية الكنيسة المسيحية أو جعلها أكثر استقرارا بصفتها القوة المنظمة في أوروبا: شارلمان في القرن التاسع، ثم الحملات الصليبية بعد ذلك بقرنين. أما شارلمان المحارب الفرنسي ـ فقد اتجه إلى إخضاع القسم الأكبر من أوروبا، الذى يضم بتقريب ما يعرف الآن باسم ألمانيا وفرنسا وبلجيكا وهولندا وسويسرا والنمسا وشمال إيطاليا. وأجبر الوثنيين فى حدود ممتلكاته على اعتناق المسيحية. وقد توجه البابا فى العام 800 إمبراطورا للرومان، الأمر الذى أوجد ما عرف فيما بعد باسم إمبراطورية روما المقدسة. وقد خلق هذا الوضع سابقة فى التدخل البابوي في العلاقات الدنيوية. لكن إمبراطورية شارلمان تفتتت فى غضون مائة عام، لتقوم على أنقاضها مجموعات متناثرة أخذت تتحارب فيما بينها

بصفة دائمة. وكانت السلطة الملكية تتقلص كلما نمت قوة السادة الإقطاعيين وأعدادهم، وأصبحت الحكومة مفتتة بصورة متزايدة. وبحلول الألفية الميلادية الثانية مع نهاية سنة1000 ميلادية، أصبح الأوروبيون الغربيون محبوسين فى دويلات مع نهاية غير منتجة فلسفيا. وقد أمضوا كل وقتهم فى محاولة للنجاة لإحساسهم القوي بأنهم محاصرون. كانوا يعملون من مطلع الشمس إلى غروبها، ولم يتملك أحد ـ سوى الأغنياء ـ أكثر من الأرض العارية تحت الأقدام، وأسرة من القش. وكان كل الناس ـ بمن فى ذلك الموسرون ـ يتناولون الطعام الخشن، الخبز الأسود أو البني، واللحم والسمك المملحين، حتى لا يفسدا. وكانوا يواجهون الموت جوعا والأمراض كل يوم. وقد كان قرنان من الكفاح كفيلين بخلق طبقة من الفرسان المحاربين الذين لم يجدوا مفرا من محاربة بعضهم البعض. كانت الفوضى الشاملة تنذر بأوخم العواقب حتى توافر الحل المناسب. كان الحل فى إرسال الفرسان فى حملات صليبية.

الحملات الصليبية

جلبت الحملات الصليبية إلى أوروبا شيئا جديدا، إنه التعصب المطلق والمقنن. ففي طريقهم إلى الأرض المقدسة، قامت هذه الحملات بذبح التجمعات اليهودية في فرنسا وإنجلترا على طول طريقهم. وكأن المسيحيين الباقين في الوطن أرادوا أن يقوموا بنصيبهم من الجهاد، لذا فقد نظموا مذابح جماعية في آثار الحملات الصليبية. وبحلول القرن الثاني عشر، عبئت الحملات الصليبية ضد الأوروبيين أنفسهم، وضد السلاف الوثنيين، وضد الونديين، ثم اتجهت الحملات الصليبية بعد ذلك إلى الشمال لمواجهة البروسيين وشعوب شرق البلطيق، لإجبارها على اعتناق المسيحية.

وقد أدت موجة التعصب الجديد إلى معاداة السامية والوثنية كجزء ثابت من الثقافة الأوروبية، الأمر الذي دفع بالإسلام السمح لتبني مواقف متشددة مما كان له مضاعفاته في تاريخ الكيمياء. غير أن الحملات الصليبية قد أضفت الوحدة والقوة على الكنيسة المسيحية بحيث إنه عندما جاءت حركة البعث والإحياء في تعاليم الكيمياء كانت الكنيسة أول من يتحرك.

الرهبانية

كانت حركة الرهبنة التي نشأت في مصر هي الأساس الذي قامت عليه حركة البعث والإحياء. وقد مر بنظام الرهبنة المسيحية الكثير من التغيرات كمؤسسة جعلته مقفلا عن القادة الدنيويين، وقادرا على اتباع نظام خاص به. وحتى تظل الأديرة مستقلة، كان عليها أن توفر حاجاتها بنفسها، لذلك أصبح هناك رهبان مزارعون وأطباء وحرفيون بجوار رهبان القرون الوسطى الذين أحنوا ظهورهم على المخطوطات. كان الرهبان المحترفون الذين يجيدون القراءة والكتابة قادرين على تسجيل ما كان يتم تناقله شفاهيا من تقنية الكيمياء الموروثة من الإمبروطورية الرومانية التى دخلت مع الغزوات. كان أحد هؤلاء الرهبان هو ثيوفيلاس البنيديكتي.

ثيوفيلاس

ربما كان اسم ثيوفيلاس هو الاسم المستعار لصانع ماهر للفلزات اسمه روجر من هيلمارش هاوزن. وكان هو الذي قام بصناعة مذبح متنقل مطلي ومنقوش والذي مازال موجودا فى الدير الفرنسيسكان فى بادر بورن بألمانيا. وعلاوة على أن الباحث ثيوفلاس كان صانعا عمليا ماهرا، ألف خلاصة وافية عن الحرف المعروفة في بداية القرن الثاني عشر عنوانها «عن فنون الصيد»، ويقوم في كتابه ذي الأجزاء الثلاثة بوصف واضح وتفصيلي للتصوير الزيتي وللرسم على الجدران والصباغة والطلاء وزخرفة المخطوطات، وفنون العاج والزجاج والفلزات، بما في ذلك الزجاج هنا وصفته لصناعة صبغة كبريتيد الزئبق الحمراء:

> خذ الكبريت ... فتته على حجر، ثم أضف له ضعف وزنه من الزئبق موزونا بميزان، وبعد مزجهما باحتراس، ضعهما فى مخبار زجاجى. غطه بالصلصال وسد الفوهة سدا محكما بحيث لاتتسرب الأبخرة، وضعه بجوار النار ليجف، ادفنه بعد ذلك في فحم ملتهب، وعندما يسخن ستسمع صوت تحطم في الداخل نتيجة اتحاد الزئبق بالكبريت الملتهب. وعندما يتوقف الضجيج ابعد المخبار، ثم افتحه، واستخرج الصبغة منه[1].

ومنذ أن سجلت هذه التقنيات فإنها لم تتعدل أو تتطور إلا قليلا. وقد أصبحت الكيمياء العملية لثيوفيلاس هي الكيمياء العملية للعصور

الوسطى في أوروبا. وكان العاملون بالكيمياء يصنعون الصبغات والصابون والفلزات، لكنهم احتفظوا بالطرق المستخدمة سرا. وكانوا يورثونها دون مساس أو تطوير. أما ما كان يمكن أن يتطور في أوروبا فإنها السيمياء. وفي القرن الثاني عشر كانت السيمياء في طور اكتشافها.

الفتح المعاكس

وفي إسبانيا، رحب العرب بالرهبان المسيحيين باحثين في مكتباتهم ومدارسهم. وكان الاحتكاك بالعرب هو المغذي لحركة البعث والإحياء الأوروبية. وبحلول نهاية القرن الحادي عشر، شعرت بعض الأمم الأوروبية بأنها أصبحت من القوة بحيث تستطيع دفع العرب من حيث أتوا. وكان الأوروبيون يعون تماما كنوز المعرفة المتاحة باللغة العربية. لذا عندما هزموا العرب كانوا حريصين على ألا يمسوا بسوء هذه الكنوز. وقد استولى النورمنديون على صقلية العربية في العام 1091، لكن الأطباء والعلماء المسلمين ظلوا باقين في البلاط النورمندي. وبعد فتح طليطلة بإسبانيا العام 1085، أسَّس مركز للترجمة كان يقوم بتوظيف من يعرفون لغتين أو ثلاث لغات من العرب والمسيحيين واليهود.

المترجمون

تمت ترجمة وحفظ الأعمال العربية الممتزجة بالتأثيرات الهندية والصينية، والتي تناولت الطب والرياضيات والفلك والفلسفة والسيمياء. ولم يحتفظ التاريخ بمعظم أسماء العرب واليهود الذين ترجموا كتبا وثيقة الصلة بالكيمياء. غير أن بعض الأسماء الأوروبية في هذا المجال ما زالت معروفة. فمثلا ترجم جيرالد من جريمونا أعمال الرازي وأرسطو وإقليدس وجالينوس وكتاب القانون لابن سينا حوالى العام 1150، وذلك غير اثنين آخرين نعرف شيئا عن تاريخ حياتهما، وهما روبرت من تشيستر، وأديلارد من باث.

روبرت من تشيستر، وأديلارد من باث

ربما كان روبرت من تشيستر وهو من أوائل المترجمين (حوالى 1150م)

إنجليزيا ومرتبطا بالكنيسة المسيحية كرجل دين. وقد عاش هو وصديقه هنري الدلماتي في إسبانيا حيث كانا يدرسان علم التنجيم. وعندما التقيا ببطرس الموقر (رئيس دير فرنسي للرهبان كان يبشر بحملات صليبية سلمية على شكل إرساليات)، طلب منهما أن يترجما القرآن، وبعد الانتهاء من هذه المهمة، قام روبرت بترجمة «كتاب التركيبات في السيمياء».

كانت أوروبا الغربية مازالت تعتبر نفسها بقايا الإمبراطورية الرومانية، وكانت تسمي اللغة التي تتحدثها اللاتينية، مع أن هذه اللغة كانت تتطور وتمتزج بالفرنسية والإيطالية والإنجليزية والألمانية. يقول روبرت في مقدمته للترجمة :«حيث إن ماهية السيمياء لم يكن يعرفها بعد عالمكم اللاتيني، فإنني سأقوم بشرحها في الكتاب الحالي»[2].

ترجم روبرت كذلك «الجبر » لعالم الرياضيات الخوارزمي، وهو الذي عرف أوروبا على هذا الجزء من الرياضيات. ويعد تزامن وصول أفكار أرسطو- وفكرة التحول كأمر محتمل الحدوث - إلى أوروبا مع رياضيات اليونان والإمبراطورية الإسلامية، من أسباب تقبل أوروبا أخيرا لأرسطو كمرجع. ومع أن مفهوم الصفر ومفهوم الأعداد السالبة كانت على الأرجح هندية في الأصل[3]، إلا أن الرياضيين العرب هم الذين أدخلوا هذه الأفكار في رياضياتهم، مع الأنظمة الرياضية الإغريقية والمصرية والبابلية. وبالنسبة للباحثين الأوروبين في القرنين الحادي عشر والثاني عشر، فإن الجبر كان يبدو بمنزلة واحة من الصواب والرشد يشع بالدقة والوضوح اللطيفين، وسط عالم من الباطنيات وتجميع التقنيات المتداخلة.

كان أديلارد إنجليزيا كذلك، وقد ترجم هو الآخر أعمالا في الرياضيات، بما في ذلك الترجمة العربية لكتاب العناصر لإقليدس. ويقال إنه حصل على هذه النسخة المترجمة في إسبانيا عندما كان يرتحل متنكرا كطالب مسلم. وإذا كانت هذه القصة حقيقية، فإنه كان على دراية جيدة باللغة العربية، حتى أنه استطاع أن يحول الأنظار عن نفسه كمواطن ويشهد ذلك على مقدرته في الترجمة. ولابد أنه كان رياضيا بارعا لأنه ألف ترجمة مختصرة لكتاب العناصر وطبعة أخرى مزودة بالتعقيبات. كان أديلارد مرتحلا عبر فرنسا وإيطاليا وسوريا وفلسطين وإسبانيا قبل عودته إلى إنجلترا ليصبح المعلم الخصوصي لمن كان مقدرا له أن يصير هنري الثاني.

كان أديلارد كاتباعلميا بارزا، يعتقد أن المعارف الدنيوية الجديدة لاتتطابق دائما مع الأفكار الكنسية التقليدية. وقد أثبت بهذا الشكل أنه استبقى لنفسه بعضا من روح الفكر الحر الخاص بالشخصية العربية التي كان يتقمصها. شحذ فيض المعلومات شهية الأوروبيين نحو المزيد، وقام التجار والنبلاء والبابوات بإرسال وكلائهم إلى إسبانيا ليتعلموا العربية ويجلبوا معهم المخطوطات. وبدأت خزائن الرهبان فى الامتلاء، وكان ذلك فى الوقت المناسب تماما، إذ سرعان ما توقف العالم الإسلامي عن تقديم المزيد.

اضمحلال التأثير الإسلامي

فى القرن الثالث عشر، تعرضت روح البحث الحر التي تميز بها العلماء المسلمون، لكارثة محتومة على يد قائد عسكري منغولي عرف باسم جنكيز خان، الذي اندفع بقواته من آسيا سنة 1227، وأصبح أكبر فاتح عرفه العالم على الإطلاق. كان الرعب هو (خطته)، وكان على من استسلموا له أن يدفعوا إتاوة فقط، أما من لم يستسلموا فقد كانوا هدفا للنهب والسلب والقتل والتدمير. وقد قام أبناؤه بعد وفاته بغزو أوروبا وروسيا. وهاجم الخان الأعظم الثالث الدولة الإسلامية. فبعد أن قضى على الحشاشين في طريقه، اتجه نحو بغداد، وقد عصفت قواته بالمدينة ونهبوها. وقاموا بلف آخر خليفة داخل سجادة وقتلوه تحت سنابك الخيل (إذ كانت هناك خرافة تحذر من إراقة دمه).

وحطم الغزو المنغولي المدن العربية الكبرى، ودمر المكتبات والمخطوطات والمدارس. وأصبحت مهمة العرب هي إنقاذ ما يمكن إنقاذه دون أن يطوروا أي جديد. وفي العام 1260، تحطمت أسطورة المغول الذين لايقهرون بعد هزيمة أحد جنرالاتهم، وانتهى عصر من الرعب والإرهاب. غير أنه بحلول هذا الوقت كان الإظلام التام قد أحاق بالفكر العربي، كان العرب ـ مثل باقي الأمم التي سبقتهم ولحقتهم ـ قد شيدوا الأسوار العقلية والحقيقية. كانت معارفهم قد حفظت ثم عبرت إلى الغرب في ذلك الحين.

القرن الثالث عشر: عصر التعليم

استمرت الغزوات تجتاح أوروبا خلال القرن الثالث عشر، لكن ما تبقى

من الإمبراطورية الرومانية السابقة كان من القوة بحيث يقاوم هذه الغزوات. كان السكان قليلين، والإقطاع مزدهرا، لكن المدن الحرة كانت تنمو وتنمو معها مراكز التعليم. أُسست الجامعات في نابولي وباريس وأكسفورد وكامبريدج وسيفيليا وسيينا.

كانت جامعات ذلك الوقت من طرازين : جامعات إيطاليا وإسبانيا وجنوب فرنسا التي كانت مملوكة ويديرها الطلاب أنفسهم. كانوا يعينون (ويفصلون) المعلمين ويحددون مرتباتهم. وعلى الجانب الآخر، كانت الجامعات في شمال أوروبا تتكون من اتحادات للمعلمين. وكان لكل كلية (الفنون واللاهوت والقانون والطب) عميد منتخب. كانت الكلية تقدم العون المالي لإقامة الطلاب الفقراء. لكن عندما تأكد أن النظام يتحقق كأفضل ما يكون إذا أقام كل الطلاب في الكليات، أصبحت الكليات مراكز للدرس وللإقامة.

كان طلاب ذلك الوقت مثل الطلاب اليوم، فيما عدا سن الالتحاق والذي كان في القرن الثالث عشر يتراوح بين 12 , 15سنة. كانت هناك تقارير تؤكد وجود مواجهات مخمورة بين الطلاب والفتوات المحليين. وقد ضبط الطلاب في باريس وهم يلعبون النرد في المذبح في نوتردام. كانت جماهير الناس غالبا تشجب الجامعات لأنها مأوى الهرطقة والوثنية والإغراق في الشؤون الدنيوية. وكان يقال إن الطلاب «يبحثون عن اللاهوت في باريس، وعن القانون في بولونيا، وعن الطب في مونت بيليه، لكن لا يبحثون في أي مكان عن حياة يرضى عنها الرب»[4].

ومع ذلك، فقد كانت العملية التعليمية تأخذ حيزا حتى وسط هذه الاحتفالات. وكانت وسيلة التعليم هي المحاضرة، حيث كان الطلاب يكتبون مذكراتهم على ألواح من الشمع ليناقشوا ما كتبوه فيما بعد. وتضمنت المناهج في هذه الجامعات الأولى قواعد اللغة والبلاغة والمنطق أو الديالكتيك للحصول على درجة البكالوريوس، أما الدراسة لدرجة الماجستير فكانت تتضمن الحساب والهندسة والفلك والموسيقى. ولم يكن هناك الكثير من التاريخ أو العلوم الطبيعية. كان الرهبان من المنديكانت، أو المجموعات التي تعيش على الصدقات (مثل الفرنسيسكان أو الدومنيكان) يقومون بالتدريس في الجامعات من أجل لقمة العيش، ومن خلال هذه العملية انتقلت الترجمات العربية من الأديرة إلى عالم القرون الوسطى.

شجبت الكنيسة في البداية أعمال أرسطو المترجمة حديثا، وكانت هناك بعض نقاط الخلاف والجدل مثل مفهوم أرسطو عن العالم السرمدي وفكرة عدم وجود ثواب وعقاب بعد الموت. وبالإضافة لكل ذلك فإن الكنيسة كانت معادية للنزعة العقلية، أي لاستخدام العقل الإنساني بديلا عن الإيمان في البحث عن الإجابات. كان آباء الكنيسة معادين، بوجه خاص، لأعمال أرسطو في العلوم الطبيعية، حتى أنهم حرموا تدريسها، لكن دراسة هذه العلوم تواصلت (ربما شجع الحظر على دراستها بشكل غير مشروع). وبفضل مجهودات المدافعين عن الدين مثل توما الأكويني ـ الذي كان يقول إنه لاتعارض بين العقل والإيمان إذا كانا من مصدر إلهي واحد ـ عادت العلوم الطبيعية لتدرس بشكل شرعي، وبحلول منتصف القرن الثالث عشر، أصبحت هذه العلوم متطلبا للحصول على درجة الماجستير في الفنون.

استمرت المعلومات في التدفق نتيجة الاحتكاك بالعرب وبآسيا. لكن المغول كانوا يصبون اهتمامهم على الفوائد الاقتصادية للفتح وليس على قواعد الفكر. كانوا متسامحين مع الديانات المحلية والعادات ما دامت هذه لا تتداخل مع جباية الضرائب. وقد أصبحت التجارة بواسطة الطرق بين الصين وأوروبا (وقد شجعوا هذه التجارة فعلا) أيسر في العصر المغولي.

وقد كان التجار من البندقية (كان ماركو بولو واحدا منهم) والتجار المسلمون واليهود يقومون بهذه الرحلات للتجارة (في 1163، كان هناك محفل يهودي في الصين). وقد وجدت التقنيات الصينية طريقها عبر هذه الدروب مثل استخدام البارود في القنابل والصواريخ. وفي هذا الوقت، كانت الهند نشطة تجاريا وسيميائيا، وكُتبت الـ «سوكرانيتي»، حيث أعطيت وصفات عدة لتصنيع البارود. لم يكن السيميائيون المسلمون ينتجون كما في السابق، لكنهم واصلوا عطاءهم للغرب بهدوء عن طريق التجارة والترجمة.

لم يكن تبادل المعلومات يسير بوتيرة منتظمة على الدوام، ففي بداية القرن الثالث عشر قام الصليبيون ـ تحدوهم دوافع مختلفة من البحث عن الثروة والغيرة الحضارية والحماسة الدينية ـ قاموا بالهجوم على القسطنطينية ونهبوها وأحرقوها وغنموا منها الغنائم وقتلوا واغتصبوا

الكثيرين وداسوا تحت الأقدام كنوز الكتب فيها. لكن الصليبيين من البندقية ـ والذين التحقوا أخيرا بالحملات الصليبية ــ أدركوا قيمة الكتب فحاولوا إنقاذ البعض منها، لكن معظمها كان قد فقد وانقطعت معه قناة العلم والمعرفة التي كانت تصل الغرب بالشرق ممثلة في القسطنطينية.

ودون النظر في الطريقة التي وصلت بها المعرفة إلى الغرب، فإن الكثير منها كان في حوزة الأكاديميين الجدد في مؤسساتهم الجديدة. وتاريخيا قام هؤلاء بالشيء المنطقي المتوقع منهم: بدأوا يجمعون ويسجلون كل ما يعرفونه سواء أكان جديدا أم قديما، وذلك في صورة مكثفة ومريحة. لقد بدأوا كتابة الموسوعات.

الموسوعيون

لم تكن هذه الموسوعات كما نعرفها اليوم : كانت نادرا ما تحتوي على عناوين أو رؤوس موضوعات. وكان من العسير في بعض الأوقات أن نميز بين الموضوعات المتوالية. لم تكن هناك عناوين أو مراجع أو ترتيب ألفبائي للموضوعات. ولأن هذه الموسوعات كانت قد جمعت قبل اختراع الطباعة، فإنها كتبت باليد. كان الموسوعيون أنفسهم من رجال الكنيسة، غير أن البعض كان من الراهبات. وقد كانت الموسوعات تمثل في بعض الأحيان جهدا خارقا يستغرق العمر كله.

بارثولوميو الإنجليزي وفينسنت من بوفي

يعد بارثولوميو الإنجليزي مثالا على هذه السلالة، ويبدو أنه كان من الفرنسيسكان، وعمل بالتعليم في جامعة باريس، وتتكون موسوعته «كتاب صفات الأشياء» من ١٩ مجلدا، وقد استخدم فيها المصادر الإغريقية والعربية. وسجل بارثولوميو في موسوعته نظرية العناصر لأرسطو مع نظرية الكبريت ـ الزئبق العربية ــ كما سجل أن التحول ممكن لكنه أمر صعب المنال.

أما فينسنت فقد كان كاهنا فرنسيا من الدومنيكا، ومعلما خصوصيا لابني لويس التاسع، وقد بذل ثلاثين عاما من العمل ليكتب موسوعته «المرآة العظمى» ويعني بكلمة المرآة أن الموسوعة تظهر للعالم ما كان عليه وما يجب

أن يصبح عليه، أما كلمة العظمى، فلابد أنها كانت تدل على عشرة آلاف فصل في 80 مجلدا ضمتها موسوعته. تناول فينسنت في أعماله التاريخ منذ بدء الخليقة وحتى زمن لويس التاسع. وقد قام بتلخيص التاريخ الطبيعي وكل العلوم المعروفة في الغرب في ذلك الوقت. واستعان بأكثر من 300 مؤلف كمراجع، وتكلم عن الأدب والقانون والسياسة والاقتصاد. وقد احتوت «المرآة العظمى» معلومات في الكيمياء والسيمياء، غير أن هذه المعلومات كانت مكتوبة على طريقة بليني غير محققة وغير مفسرة. كان على هذه المعلومات أن تنتظر مجموعة أخرى من الباحثين (التي كانت تسمى في مجموعها بالمدرسيين [الاسكولائيين]) لتتدارسها وتوفق بينها وبين الأديان السماوية، كاليهودية والمسيحية. كان هناك مدرسيون من اليهود والمسيحيين لكن المدرسيين المسيحيين كانوا أكثر تأثيرا.

المدرسيون (الاسكولائيون)

كان هؤلاء المحققون يسترشدون بالاسكولائية Scholasticism، وهي الفلسفة التي كانت تُعلَّم أن أفضل الحجج هو ما كان مؤيدا من قبل المرجعية. وفي أوروبا القرن الثالث عشر، كانت أعلى سلطة مرجعية هي سلطة الكتاب المقدس، ثم آباء الكنيسة، فشروح المدرسيين ثم أرسطو.

شجع حماس المدرسيين للمرجعية على سرعة التصديق بسذاجة، الأمر الذي أثر في طريقة التفكير لقرون عدة متتالية. كان المدرسيون يؤمنون بالتنجيم والسحر والشعوذة وتحضير الأرواح وقدرة وفعالية الحيوانات والكواكب والجواهر أو الأحجار التي قرأوا عنها في أعمال العرب. وقام أتباعهم بتخليد أفكارهم. بذل المدرسيون الكثير لنشر المعرفة، لكن قد تكون هذه الأفكار قد عاقت التطور المنهجي للتفكير العلمي، وربما كان أكثر المدرسيين الجدد تأثيرا في العلوم الطبية هو ألبرت الأكبر.

ألبرت الأكبر

كان ألبرت الأكبر هو أكبر الأبناء في أسرة موسرة من نبلاء ألمانيا، ويشاع عنه أنه كان قصيرا جدا. فإذا كان متوسط الطول في هذا العصر هو 5 أقدام، فإنه لابد أن يكون قصيرا جدا بمقاييس اليوم. وقد انخرط

في جماعة الرهبان الدومنيكان وهو في العشرينيات من عمره. وقد أرسل إلى دير للدومنيكان تابع لجامعة باريس، حيث تعرف على الأعمال الإغريقية والعربية المترجمة وأصبح مشايعا للمذهب الاسكولائي (المدرسي). وبعد أن تعرض الدومنيكان للحرمان الكنسي بواسطة آباء الكنيسة لتدريسهم أعمال أرسطو في الفلسفة الطبيعية، تيقنوا أن بها شيئا مهما. وقد طلبوا من ألبرت أن يقوم بشرح المبادئ الأساسية لأرسطو باللاتينية بحيث يمكنهم أن يفهموها إذا قرئت. وهكذا شرع ألبرت ـ بناء على هذا ــ في العمل ليجعل فروع العلوم « مفهومة للاتينيين»[5]، وهي العلم الطبيعي والمنطق والبلاغة والرياضيات والفلك والأخلاق والاقتصاد والسياسة والميتافيزيقا.

و كتب تعليقات على كل الأعمال المعروفة لأرسطو (سواء الأعمال الأصلية أو المحولة). وقد أعاد صياغة الأصول مضيفا إليها الاستطرادات والمشاهدات والاستنتاجات و «التجارب» (وكانت تعني عند ألبرت عملية المشاهدة والوصف والتقسيم). واحتراما لأفكار آباء الكنيسة، كان ألبرت يقول :«إنني أبسط أرسطو فقط ولا أصادق عليه»[6].

وقد قام ألبرت بتسجيل المعلومات العلمية والفلسفية على طريقة الموسوعيين. وكان يشير إلى الزئبق بأنه نوع من السموم التي «تقتل القمل والصئبان والأشياء الأخرى التي تتولد من القاذورات في المسام[7]، (لم تتأصل عادة الاستحمام الدوري الشرقية في جو أوروبا البارد، مع أنها قد وجدت بعض الانتشار مع عودة الصليبيين، لكنها لم تتمكن من الأوروبيين بعد). ويسجل ألبرت في «عن الأشياء المدهشة في العالم » خرافات مثل : إذا حكت القاذورات والشمع المأخوذ من أذن الكلب على فتيل من قطن جديد و... أشعلت هذه، فإن رؤوس الأشخاص الحاضرين ستبدو صلعاء تماما[8]. لكنه يسجل كذلك معلومات تقنية مثل وصفة لتحضير الحبر الفوسفوري المصنوع من «مرارة السلحفاة والديدان المضيئة[9]، (ربما كانت المرارة تستخدم لصنع مستحلب من الديدان المتوهجة سيئة الحظ). ومع أن ألبرت كان يؤمن بالشخصيات المرجعية، إلا أنه كان على الأقل ينتقد بعض الأشياء. وعندما كان يقتبس بعض الأمور المشكوك فيها (مثل النعام الذي يأكل الحديد)، فإنه كان يضيف باحتراس أنه لم يشهد هذا الحادث في الواقع، أو كان يقول «لقد كنت هناك ورأيت ذلك يحدث»[10].

كان ألبرت يعتقد، كما لم يعتقد البعض الآخر، أن العلم أكبر مما جاء به أرسطو، وكان مهتما بالسيمياء، لكنه كان يتشكك في التحولات :«لقد اختبرت بنفسي الذهب السيميائى، ووجدت أنه بعد ست أو سبع عمليات احتراق كان يتحول إلى مسحوق[11]، لكنه في نهاية الأمر تراجع عن ذلك، وأخذ جانب السلطة المرجعية وكتب عن الذهب والحديد السيميائيين كمادتين حقيقيتين، غير أنه أضاف قائلا: إن هذه المواد كان ينقصها بعض خواص المواد الطبيعية(فمثلا لم يكن للحديد السيميائي خواص مغناطيسية). وكان ألبرت مع ذلك يؤمن بأن أفضل المعلومات عن المواد كانت تلك التي جاء بها السيميائيون مقارنة بالمعلومات التي جاء بها الرياضيون والمنجمون.

وقد أصبح ألبرت شخصية محترمة تتمتع بسمعة طيبة، ومرجعا في الأمور المستقيمة، لأنه كان قد انكب على إنجاز التعقيبات المختلفة مدة استغرقت عشرين عاما كاملة.

وكانت أقواله تقتبس كاملة، كما كان يحدث مع الفلاسفة العرب، وحتى مع أرسطو. لقد كان اسم ألبرت يتلازم مع الاحترام والمرجعية: كان ضمن حوارييه توما الأكويني الشهير.

كان ألبرت يفضل أن يهب نفسه للدراسة والتعليم والكتابة، لكن كما كان يحدث وما زال يحدث في الوسط الأكاديمي حتى الآن، لأنه كان متفوقا في البحث، فإنه لابد أن يكون متفوقا بالمثل في تدبيج المذكرات، لذلك انتقل ألبرت إلى سلك الإدارة. كان ذلك هو الطريق المتبع للمتعلمين في ذلك الزمان، وجاء التعيين في حالة ألبرت من أعلى مستوى ، من البابا نفسه، كما كتب ألبرت. وعندما كان يذهب في رحلاته الرسمية ليجوب المناطق الألمانية الموضوعة تحت إشرافه، فإنه كان يفعل ذلك وهو حافي القدمين كرمز للتواضع في الرهبنة التي كان يعتنقها لأنه كان متدينا مخلصا. وقرب نهاية حياته، بلغ ألبرت مركزا يسمح له بحرية اختيار ما يوكل إليه من مهام، لذلك فقد اختار العودة للتدريس، لكنه استمر في رحلاته خلال أوروبا بناء على أوامر البابا ليعظ طبقة النبلاء ويجادلهم ليؤيدوا الحملات الصليبية.

وهناك رواية تقول إن ألبرت عندما كان راهبا شابا لم يكن ذكيا، لكن العذراء ظهرت له وأخبرته أنها ستساعده كي يحرز تقدما، وسألته ليختار

بين اللاهوت والفلسفة، فاختار الفلسفة. وقد وعدته العذراء بتحقيق رغبته، لكنها كانت محبطة لهذا الاختيار، وتنبأت له بأن يعود لحماقته الأولى قبل الوفاة. ويقال إنه كان يعاني من خرف شيخوخي العام 1278، وقد مات العام 1280[12].

التجريبيون

اتسم العصر بنفحة من التجريب على الرغم من الاعتماد شبه الكامل على المرجعية. وقد كانت التجارب ـ التي كانت تهز كل المفاهيم وقتها ـ مشوبة بالتوقعات وتحظى بتقنية بعيدة عن الكمال، إذا استخدمنا تعبيرا مهذبا. ويمكن ملاحظة هذه القيود في أعمال التجريبيين أمثال روجر بيكون، وفي الكتابات المنسوبة إلى رامون لول.

روجر بيكون

كان روجر بيكون يعرف كذلك باسم دكتور ميرابيليس (المعلم الرائع). ولد حوالى سنة 1214 لأسرة موسرة وتدرب على الكلاسيكيات والهندسة والحساب والموسيقى والفلك، ثم أصبح من الفرنسيسكان في أكسفورد. وقد ركز بيكون بحوثه في أكسفورد على الرياضيات والضوء والسيمياء، وكذلك على اللغات الإغريقية والعبرية والعربية وفي أيامه كان أفضل لرجل الدين أن يهتم باللاهوت وليس بالعلوم. وقد وصف بونافينتورا، كبير الأخوة الفرنسيسكان هذا الموقف بإحكام قائلا: «تقوم شجرة العلم بالتحايل على الكثير من شجر الحياة، أو هي تعرضه للآلام المبرحة للبرزخ (المطهر)»[13]. غير أن بيكون استمر في نهجه، وعندما بدأ بالتدريس في باريس فإنه بدأ معه سلسلة من الزيارات الخاطفة للكنائس استمرت طوال العمر.

وعندما عاد فجأة إلى أكسفورد استمر في إنفاق الوقت والجهد والمال (على الأرجح مال أسرته، لأن الفرنسيسكاني يجب ألا يملك رصيدا شخصيا) على الكتب والمساعدين والأجهزة والأصدقاء من المتعلمين.

لم يكن أي من هذه الأمور يمثل جزءا من وظيفته في كلية الفنون (في دراسة العلوم كانت الأولوية للمناقشات العقلية على التجريب)، ولم تساعده

فى علاقاته مع أخوة الرهبنة. لكن بيكون كان يؤمن بالقول المأثور، إن النارلم يكن معروفا أنها تحرق حتى وضع أحدهم يده فى لهيبها.

وهنا تحين المناسبة لذكر بضع كلمات عن الوضع العام. كان بيكون يؤمن كبقية رجال عصره بأن بعض المفاهيم واضحة بذاتها ولاتتطلب إجراء اختبار. وعندما كان يقول «لايمكن معرفة أي شيء بالتأكيد إلا بواسطة الخبرة»[14]، فإنه كان يعني كذلك خبرة الإيمان والحدس الروحي والإلهام الإلهي. وقد قسم بيكون العلوم الطبيعية إلى منظور (البصريات)، والفلك، والسيمياء والزراعة والطب والعلم التجريبي. وكان بذلك واحدا من أوائل الذين اعتبروا التجريب حرفة أو مهنة قائمة بذاتها. كان بيكون يقوم بمشاهدات منتظمة مستخدما العدسات والمرايا، وقد درس بجدية مشكلة الطيران باستخدام أجنحة خفاقة، وأجرى عددا محدودا من تجارب السيمياء. وكان يمكن له أن يقوم بعمل المزيد لولا التدقيق الذي كان يتعرض له من رؤسائه.

وقد طرد بيكون من أكسفورد في منتصف القرن الثالث عشر، نتيجة للمصادمات الطويلة مع السلطة المرجعية الفرنسيسكانية. وبذلك أصبح غير قادر على الاستمرار في تجاربه. وقد شعر (كما كتب هو نفسه) أنه أصبح مدفونا. وأرسل خطابات ملتهبة للبابا محاولا إقناعه بمكانة العلوم (والسيمياء) في المناهج الجامعية. وكان بيكون يصرح بأن الهدف من السيمياء هو «جعل الأشياء أفضل... بالفن لا بالطبيعة»[15]. وقد استبق السيميائيين الأطباء من القرن السادس عشر عندما قال إن السيمياء «لاتزود الدولة بالمال والأشياء الأخرى غير المحدودة فقط، لكنها أيضا تعلمنا كيف نطيل عمر الإنسان إلى المدى الذي تسمح به الطبيعة»[16]. وفي محاولة منه لتأييد حججه على البابا أن يضع مؤلفا عظيما على شكل خلاصة وافية في دراسات العلوم الطبيعية والرياضيات واللغة والمنظور والتنجيم، لكن البابا ظن خطأ أن المؤلف كان جاهزا، لذلك طلب منه أن يرسل له نسخة.

ولأسباب غير واضحة، طلب البابا من بيكون أن يفعل ذلك بشكل سري (ربما ظن البابا أن هناك معلومات مفيدة في هذا المؤلف)، وقد عرض ذلك بيكون لمعضلة : كان ينفذ أوامر البابا في عمله بالعلوم ـ الأمر الذي يعني أن يسير ضد رغبات رؤسائه ـ وفي الوقت نفسه، كان مأمورا أن يحتفظ

بالعمل سريا. وبذلك لم يكن بيكون يقدر حتى أن يخبرهم لمن كان يقوم بهذا العمل. وبصورة مذهلة، تمكن بيكون، على رغم المعوقات، من إتمام المؤلف الأكبر والمؤلف الأصغر والمؤلف الثالث. ولمفارقات القدر، فإنه بعد هذا الجهد البطولي توفي البابا دون أن يتمكن من قراءة أي من أعمال بيكون. أما بالنسبة لنا، فإن هذه الأعمال تمدنا برؤية نافذة للمعلومات الكيميائية في ذلك العصر. فمثلا، يوصف بيكون البارود في المؤلف الكبير:

تلك اللعبة الصبيانية التي تجري في أجزاء كثيرة من العالم ...[وهي التي] بواسطة، القوة في ذلك الملح المسمى ملح بيتر [نيتر] ينتج ضجيج رهيب إذا تمزقت ... يرن صفير ... تشعر أنه يتفوق على هزيم الرعد العنيف، والضوء الصادر عنه يتفوق على ضوء أقوى البروق ... لكن خذ 7 أجزاء من ملح بيتر، و5 من خشب البندق [فحم] 5 من الكبريت ... وينفجر هذا المزيج إذا عرفت الطريقة [17]، [18].

وينسب أحيانا لبيكون أنه جلب البارود إلى الغرب، لكنه إذا كان فعلا مستخدما في مفرقعات الأطفال، فإنه كان بالفعل معروفا بشكل جيد... ويشير ألبرت الأكبر إليه في كتاباته، وربما يكون ألبرت قد حصل على معلوماته من «كتاب النيران لحرق الأعداء» المنسوب إلى ماركوس جريكوس، وقد يكون «كتاب النيران» قد أُلِّف أول مرة في القرن الثامن، لكنه لم يصل لأوروبا إلا في أيام بيكون. ويقدم هذا الكتاب وصفا لأشياء مختلفة، منها المواد الحارقة والمواد الفوسفورية، والنار الإغريقية، ومتفجرات أخرى تحتوي على النيتر (نترات البوتاسيوم). وربما يكون هذا الكتاب قد كتب بواسطة أحد اليهود أو الاسبان (أو يهودي إسباني) في القرن الثاني عشر أو الثالث عشر.

ومع أن بيكون لايخبرنا « بالطريقة » لاستخدام البارود، غير أن وصفاته الأخرى، مثل وصفة تنقية نترات البوتاسيوم مع الفحم، واضحة جدا ويمكن اتباعها بسهولة، على العكس تماما من الكتابات السيميائية التي جاءت فيما بعد خلال القرن التالي.

اغسل باحتراس ملح بيتر الطبيعي، وأزل عنه كل الشوائب [المرئية]. وأذبه في الماء فوق نار هادئة، واغله حتى يتوقف الزبد عن الارتقاء، بذلك يكون قد نقي وأصبح رائقا.

كرر هذه الخطوات حتى يصبح المحلول نقيا ورائقا. دع الملح ... [ملح بيتر] يترسب من الماء على شكل أهرام، جففها في مكان دافئ، خذ هذا الحجر واطحنه ثم اغمره في ماء... ذوبه فوق نار هادئة ... اسكب المحلول الساخن فوق الفحم. وبذلك نكون قد توصلنا لغرضنا. إذا كان

المحلول جيدا، اسكبه خارجا وقلب باستخدام يد الهون، ثم اجمع كل البلورات التي يمكنك جمعها، وتخلص من الماء بالتقطير[19].

وباستكمال كتبه الثلاثة، واصل بيكون نزاعاته مع رؤسائه بكل شجاعة. وقد كتب «الملخص الوافي في دراسة الفلسفة» العام 1271، حيث وبخ الكنيسة في روما على ما أصابها من فساد وغرور وترف وجشع، في الوقت الذي كان بيكون يشكك في السلطة المرجعية، كانت هذه السلطة تشكك فيه هو نفسه، ولم تكن هذه السلطة تنظر شذرا لاهتمامه بالعلوم فقط، بل ذهب بعض الرسميين إلى أبعد من ذلك، وقالوا إنه كان يتعامل مع الأرواح الشريرة.

وقد حوكم بيكون في أواخر القرن الثالث عشر بواسطة الفرنسيسكان وأدين بتهمة «ابتكارات مشبوهة» وليس واضحا ما إذا كان قد سجن فعلا (وهو الأمر الذي لابد أن يكون مؤلما، لما كانت عليه السجون في ذلك الوقت)، أو أنه وضع رهن الإقامة الجبرية في منزله فقط. وعموما، لم يسجل بيكون أي شيء حتى نهاية القرن الثالث عشر، حين ظهر للوجود « الملخص الوافي في دراسة اللاهوت». وليس معروفا بالضبط تاريخ وفاة بيكون، غير أن الوفاة حدثت بعد صدور هذا الكتاب بفترة وجيزة، ومن الجائز أن يكون بيكون قد تصالح مع الفرنسيسكان، لأنه دفن في جرايفريرز، كنيسة الفرنسيسكان في أكسفورد.

وقد لخص المؤرخ الكيميائي ر.ج.بارتنجتون بشكل واف شخصية بيكون حيث قال: «كان بيكون على دراية جيدة بعبقريته الخاصة، غير المشكوك فيها... ولم يكن ذلك موضع ترحيب واضح ولم يكن عبثا عدم اختيار الدومنيكان لتوجيه الاتهام إليه والتحقيق معه، بينما تولى أحد الدومنيكان محاكمة جان دارك»[20]. ويستطرد بارتنجتون مؤكدا أن هذا العهد كان في محله:

كان كل من ألبرت وروجر رجلا شجاعا. وأكثر ماكتبا فيه كان موضع شك كبير وازدراء من الكنيسة. وقد تغلب ألبرت على الكثير من هذا الإجحاف لأنه كان حذرا وهادئا. أما بيكون فقد كان متهورا وعنيفا في أغلب الأحيان، ولم يفعل سوى أنه كان يؤكد ويبرز ذلك. ولم يستطع أحد من رجال الكنيسة الذين جاءوا من بعدهما أن يهمل المعارف الجديدة التي كشفا عنها[21].

الكتابات المنسوبة إلى رامون لول

كان رامون لول الفيلسوف رجلا شجاعا وشخصية تستحق الاهتمام. وعلى الرغم من أنه لم يجرب السيمياء بنفسه، فإن اسمه قد وضع على

نصوص سيميائية عدة بعد وفاته. ولد لول العام 1230 في كتالونيا (في شمال إسبانيا الآن)، وكان نتاج عصر رومانسي. وتربى في البلاط الملكي لماجوركا، وكان شاعرا ومتعلما وكاتبا باللغات اللاتينية والكتالونية والعربية. تزوج وبدا أنه قانع بحياته في البلاط، غير أنه في سن الثلاثين تحول إلى الصوفية واللاهوت، مستلهما في ذلك رؤى صلب المسيح وعذابه.

وقد طور لول في الفلسفة اللاهوتية، تاركا أثرا لايمحى، حيث جاهد ليربط كل أشكال المعرفة بعضها ببعض، وليبين دور الألوهية في الكون. وقد قام بذلك مستعينا بجداول معقدة من الافتراضات اللاهوتية التي كان يقصد إلى ربطها ببعضها، وكان يؤمن بأن المسلمين يمكن تحويلهم عن عقيدتهم بالتفنيد والدحض المنطقي للإسلام. وكان يفضل عمل الإرساليات المزودة بالمعرفة على القوة العسكرية كطريقة لاستعادة الأراضي المقدسة. ولمعرفته باللغة العربية، حاول تنظيم مدرسة للغات الشرقية ليتعلم فيها المبشرون كيف يعظون ويبشرون بأفكار بين المسلمين بلسانهم. لكن هذه المجهودات الحالمة لم تلق سوى بعض النجاحات المحدودة، كما لم تلق عظاته التي كان يقوم بها بنفسه سوى نجاح محدود أيضا: ففي الجزائر لقي لول حتفه رجما بالحجارة بواسطة حشد من المتشددين.

المرجح أن نزعة لول الصوفية (التي بلغت ذروتها في كتابه الصوفي الشهير «العاشق والمعشوق » والذي لايزال يدرسه الفلاسفة حتى اليوم)، علاوة على منطقه الخفي المعقد هما ما استهوى السيميائيين فأقبلوا على كتاباته واتخذوا اسمه اسما لهم (وهكذا كانت بداية تعدد شخصياته). وقد أخذت تظهر أعمال سيميائية منسوبة إليه، لكنها كانت مؤرخة، بعد وفاته ببضع سنوات. ومن المحتمل أن تكون هذه الكتابات قد نشرت كالمولود يتيما (فالأعمال السيميائية كانت تسبب ارتباكا للمشتغلين باللاهوت). ومن المشكوك فيه أن تكون هذه الأعمال من إنتاج لول، وقد ظهرت فعلا كالمولود اليتيم بعد وفاته.

وأيا من كان صاحب هذه الأعمال، فإنها قد سجلت هنا ضمن أعمال التجريبيين، لأنها تضم تقارير منتظمة عن النظرية والممارسة في السيمياء، وهي خالية من المجاز والرمز ومن الغموض المتعمد. وللمفارقة التاريخية المنتظمة، فإن المؤلف (أو المؤلفين) قد استخدموا حروف الأبجدية ليرمزوا

لمبادئ السيمياء والمواد والعمليات، ونظموا هذه الحروف في جداول، وجاءت الوصفات بعد ذلك على شكل مجموعة مرتبة من هذه الأحرف. وقد تضمنت وصفات لبعض المواد الجديدة التي استحوذت على الاهتمام : الأحماض المعدنية، والكحول الذي يمكن أن يشتعل .

الكحول

قام الناس بتخمير المحاليل الكحولية ـ كما أشرنا من قبل ـ على شكل بيرة ونبيذ منذ أزمنة ما قبل التاريخ. ولا يشتعل الكحول المخفف في محاليل البيرة والنبيذ، لكن الإيثانول، وهو نوع الكحول الموجود فيها يشتعل في صورته النقية. وكان على الكحول الإيثيلي النقي القابل للاشتعال كي ينفصل عن الماء أن ينتظر حتى يُحرز التقدم الكافي في فن التقطير وصناعة الزجاجيات واستخدام الحلزون المبرد، واكتشاف بعض الأملاح التي تنتزع الماء من مزيج الكحول مع الماء إذا أضيفت إلى وعاء التقطير. وربما كان أول من حاول اضافة الأملاح هم من الذين اتبعوا أفكار العرب السيميائية في أن الروح الجافة لابد أن تتحد مع الروح الرطبة، وفي هذه الحال تباشر السيمياء عملها. وكانت بعض الأملاح تمتص الماء لدرجة أن الكحول المتبقي كان يلتهب إذا أشعل.

وأول تقرير أوروبي عن تحضير الكحول موجود في مخطوطة تعود إلى القرن الثاني عشر:

De Commixtione puri et fortissimi xkok cum 111 qbsuf tbmkt cocta in ejus negoii vasis fit aqua guae accensa flammam incumbustam servat meteriam.

وقد بين المؤرخ الكيميائي بيرثلوت، أنه في هذه الشفرة إذا عوضنا عن أحرف الكلمات الثلاث: tbmkt , qbsuf , xkok بالأحرف التي تسبقها في الأبجدية [22]، فإن الكلمات تصبح vini, salis , parti, وبذلك يمكن قراءة الفقرة على النحو التالي : «إذا مزجنا نبيذا قويا ونقيا بثلث كميته من الملح، ثم سخنا ذلك في وعاء مناسب لهذا الغرض، فإننا نحصل على ماء قابل للاشتعال، يحترق دون أن يستهلك المادة [التي سكبناه فوقها]»[23]. ولابد أن تكون هذه الشفرة قد أدت الغرض منها، حتى القرن الثالث عشر، لأنه فقط في هذا التاريخ أصبحت خطوات تحضير الكحول معروفة.

وقد استخدم الكحول عمليا كدواء عام بعد أن أصبح معروفا بشكل منتشر. وكان يساعد في التئام الجروح وتجفيف القروح وإزالة القاذورات إذا استخدم من الخارج، أما تناوله بالفم فكان يخفف من الألم ويعمل على رفع معنويات المريض. وبحلول القرن التالي، كتب أحد الرهبان الكتالونيين، واسمه جون ـ من روبيسيسا ـ يصف الكحول بأنه ماء الحياة. وقد وصفه كأكسير للفلز المريض ـ ليصير ذهبا ـ وكذلك للإنسان المريض. وقد استخدم ممارسو الطب الآخرون الكحول ـ كمذيب رائع للمواد العضوية ـ لاستخلاص الزيوت من النباتات ليقوموا بدراسة خواصها الطبية.

الأحماض المعدنية

كان الاكتشاف الأوروبي (أو إعادة الاكتشاف إذا أخذنا في الاعتبار بقية أجزاء العالم) للأحماض المعدنية، مثيرا للسيميائيين تماما، كما كانت تنقية الكحول للأطباء. كانت الأحماض العضوية الشائعة ـ الخليك والستريك ـ قد أصبحت متاحة، لكنها أحماض ضعيفة ومقدرتها على الإذابة محدودة. وكانت الأحماض المعدنية (الكبريتيك والنيتريك والهيدروكلوريك) تتكون من تسخين أملاح معينة، ثم تكثيف الأبخرة الناتجة (في وجود بخار الماء الذي لم يكن السيميائيون قادرين على التخلص منه، إذ كانوا يعرفون بوجوده). كانت هذه الأحماض قوية ولها مقدرة عالية على الإذابة، كان الماء الملكي (هو مزيج من حمض النتريك والهيدروكلوريك) يذيب حتى الذهب ـ لاحظ ذلك جيدا. أوحى ذلك إلى بعض الأوروبيين الذين اطلعوا على نظرية التحول وكيفيته أنهم يستطيعون أن يطبخوا ثروة في راقود أو وعاء في خلفية البيت، وكان المطلوب معرفته هو المكونات والنسب المطلوبة لتتم عملية الطبخ. كان المسرح قد أعد لاستقبال السيميائيين الأوروبيين.

وهكذا ـ من الفلسفة العربية والإغريقية ـ أخذت المعلومات الكيميائية طريقها أخيرا إلى أوروبا، على الرغم من المقاومة التي أظهرتها الكنيسة في البداية. تعرف الأوروبيون على البارود والأحماض المعدنية، وربما تعرفوا كذلك على الكحول (من المحتمل أن يكونوا قد أعادوا اكتشافه بأنفسهم باستخدام معلومات حصلوا عليها من النصوص العربية). جُمعت هذه المعلومات في موسوعات، حيث قام الدارسون بتأملها والتفكر فيها، وهضم

معانيها، ومناقشتها في الإطار الفكري لمدارسهم الخاصة. وكان هناك عدد قليل من الأشخاص الشجعان الذين قاموا بأنفسهم بإجراء بعض التجارب باستخدام المعلومات التي حصلوا عليها :لقد جاء الدور على أوروبا لتجرب السيمياء.

5 من حوالى سنة ١٣٠٠ إلى ١٥٠٠ ميلادية تطور السيمياء الأوروبية

- أوروبا سنة 1300
- كوارث القرن الرابع عشر
- السيمياء الأوروبية
- السيميائيون الغشاشون
- الدخول إلى عصر جديد
- حوالى 1500: إصلاح الكيمياء

نادرا ما تتطور المجتمعات بشكل منتظم، فهي في ذلك تنمو فى وثبات يعقبها تباطؤ، وازدهار تليه مجاعة، وسلام تعقبه حرب، وثورة بعدها ردة. وبحلول القرن الرابع عشر، كان لدى الأوروبيين مواد جديدة، هي الكحول والأحماض، واتجاه جديد هو السيمياء، لكن الكيمياء الأوروبية لم تتحرك للأمام. فالمجتمع الذي تعرض لكوارث يستحيل التحكم فيها، كما كان يبدو في ذلك العصر، أصبح جبانا، من الناحية الفكرية، وقد ارتد عن البدايات الواعدة للمنطق والرشد واستكشاف فنون الكيمياء، ارتد عن ذلك ليفصل في الخرافات والخوف.

ومع اقتراب نهاية القرن الخامس عشر، ساهمت ثلاثة اختراعات في كسر هذا السبات ودفع عجلة الأمور للدوران مرة أخرى، وقد جاءت كلها من الشرق، البارود، وحروف الطباعة المتحركة، والبوصلة. حطم البارود قلاع الإقطاع وحولها إلى شظايا من الحجر، أما حروف الطباعة المتحركة،

فقد علمنت التعليم وجعلته دنيويا، وفتحت البوصلة عوالم جديدة.

بلغ هذا الإحياء ذروته في النصف الأول من القرن السادس عشر، مع ترسيخ الإصلاح الديني، والبروتستانتية في مواجهة سلطة الكنيسة الكاثوليكية. كان الإصلاح قطيعة جذرية مع التقاليد حتى أنه تسبب في إحداث تشويه وأذى متعمد، لكن الفترة التي أعقبت هذا اتسمت بالتحمس للقانون والنظام، والذي ظهر في نمو الملكية الاستبدادية المطلقة، والدول المستقلة ذات السيادة. ومن الطريف أن الكيمياء قد سلكت في القرن السادس عشر المنحنى الجيبي نفسه (المتعرج كالموجة صعودا وهبوطا): ففي مطلع القرن رفض الطب التجريبي سلطة جالينوس وابن سينا لمصلحة العلاجات السيميائية الجذرية الجديدة، وقد تبع ذلك في النصف الثانى من القرن، فترة من إعادة التنظيم والترتيب، وقد مثلت هذه الفترة للكيمياء فترة إصلاح في كيانها الخاص.

أوروبا سنة 1300

مع حلول القرن الرابع عشر، وهن الإقطاع الأوروبى وازداد عدد المدن، واكتسبت الكنيسة الكاثوليكية ـ التي أعيد مركزتها ـ حياتها الفكرية الخاصة. امتلأت الأديرة بالنصوص المترجمة والمؤلفة، وتسربت الأفكار من الصين والهند مع ازدهار السفر والتجارة. كان كل شيء يدل على أن أوروبا استجمعت توازنها من أجل التقدم، لكن ذلك لم يكن ليحدث بالنسبة للكيمياء. دارت العجلات الأوروبية على مدى قرنين تاليين من الزمن، وكانت هناك نفحات من الفعالية، لكن المسارات كانت تتم فى شكل دوائر.

لم تكن الحال كذلك خارج أوروبا: فمع قدوم القرن الرابع عشر كان السيميائيون الصينيون والهنود مشغولين بكل همة في تطبيق السيمياء في الطب (ياترو كيمياء)، لكن الياترو كيمياء iatrochemistry لم تتطور كلية في أوروبا إلا بعد 200 عام من هذا الوقت. كما أن السيميائيين الصينيين والهنود بذلوا الكثير من جهدهم الفكرى لتصميم المختبر المناسب، وهو الأمر الذي لم يظهر في أدبيات السيميائيين الأوروبيين إلا مع القرن السادس عشر تقريبا. فمثلا، تقول إحدى الرسائل الهندية من ذلك العصر، وهي (راسارا تناسامو تشتشايا) في وصف المختبر:

لابد أن يقوم المختبر في منطقة تزخر بالأعشاب الطبية والآبار... ولابد من تزويده بالأجهزة المختلفة. يجب أن يوضع عمود أو قضيب الزئبق [شعار شيفا (الإله الهندوسي للدمار والتكاثر) أساس الخلق] ناحية الشرق، أما الأفران، فترتب جهة الجنوب الشرقي، والأجهزة في الجنوب الغربي. وتجرى عمليات الغسيل في الناحية الغربية، أما التجفيف فيتم في الجانب الشمالي الغربي من المختبر، ويجب أيضا أن يزود المختبر بجهاز استخلاص الخلاصات وأوعية للماء وزوج من المنافيخ وأجهزة أخرى عدة. كذلك لابد من وجود جهاز للدَّراس، وأهوان للطحن (جمع هون) مع أياديها، ومناخل كثيرة الدرجات وتربة من أجل البواتق، وفحم وأقراص من روث البقر المجفف، ومعوجات من الزجاج وتربة وحديد ومحارات القواقع، ومقلايات حديدية...إلخ[1].

ويدل تجهيز المختبر بهذا الشكل على أن من صممه يتمتع بمعرفة عمليات كيميائية كثيرة مثل الاختزال والتقطير والاستخلاص والإذابة (فى الحمض أو المحاليل القلوية)، وأنه قادر على إجراء بعض البحوث الكيميائية متوسطة التعقيد. وفي جزء آخر من هذا العمل يدور الكلام عن الطالب المثالي في المختبر (على الرغم من أن القليل يمكن أن تتوافر بينهم هذه المتطلبات الصارمة اليوم):

لابد أن يكون الطالب (الطلاب) عامرا بالتوقير لمعلميه (معلميهم)، سلوكه حسن وصادق ويعمل بكل جد ومطيع. لابد أن يبتعد عن الغرور والأوهام وأن يكون قوي الإيمان... معتادا على تناول الطعام المناسب بالطريقة المناسبة... ضليعا فى معلوماته عن الأدوية والنباتات ولغات دول عدة... (المرجع نفسه).

وقد وضعت متطلبات شبيهة بالنسبة للأساتذة: «لابد أن يكون المعلم عاقلا وذا خبرة فى العمليات الكيميائية ومكرسا نفسه للإله شيفا ورفيقته بارفاتي، كما أنه لابد أن يكون مقتصدا وصبورا» (المرجع نفسه).

ومن المستحيل التيقن من أن أفكار الياترو كيمياء (الكيمياء التجريبية الطبية) الشرقية، وتنظيم وإنشاء المختبرات قد اتخذت طريقها تدريجيا إلى أوروبا، أو أن هذه الأفكار نشأت فى العقول الأوروبية من تلقاء نفسها فيما بعد. ومن الواضح أن هذه الأفكار نشأت أولا في الهند والصين، ولم تُستوعب مباشرة من قبل الأوروبيين. والسؤال الذى يطرح نفسه: لم لا؟ وقد تكون إحدى الإجابات هي سلسلة الكوارث التي ضربت أوروبا بعنف في هذا الوقت، كوارث طبيعية وسياسية وما نتج عنها من كوارث ذهنية.

كوارث القرن الرابع عشر

مع بداية القرن الرابع عشر، ضربت سلسلة من المجاعات المحلية أوروبا

بعنف، لكن الكارثة الحقيقية كانت الطاعون الدبلي أو الموت الأسود، الذي أصاب أوروبا فى العقد الخامس (سنوات 1340) من القرن الرابع عشر. ففى غضون بضعة عقود من السنين قضى هذا الطاعون على نصف سكان أوروبا تقريبا تحولت المدن إلى أنقاض، وبالذات تلك المدن التى كانت أكثر عرضة لانتقال العدوى إليها. أغلقت مراكز الحرية والتعليم الجديدة أبوابها، وهوى التقدم إلى القاع ليتوقف تماما.

وقد واجهت القوى السياسية الجنون بالجنون، واشتبكت في ذلك الوقت في حرب متواصلة لاتتوقف. وفى سلسلة من المعارك بين انجلترا وفرنسا، والتي كانت تسمى حرب المائة عام، قامت عصابات من الجنود الإنجليز بنهب الريف الفرنسي إلى أن تصدت فتاة قروية أمية لهم هي جان دارك، وقادت عملية البعث الفرنسي. ومع أن جان دارك قد قبض عليها او أحرقت ، إلا أن ذلك حرّر الإنجليز وجعلهم يلتفتون إلى مصاعبهم الخاصة، وهو ما أدى فى نهاية القرن الخامس عشر إلى نشوء الحرب الداخلية المسماة حرب الورود.

وكردٍّ فعل لما كان يُعتقد أنه السُّعار الشيطانى الذي يسري بين الناس، فإن الأوروبيين في هذا العصر الديني الذي اتصف بالخرافات أصبحوا أكثر تدينا، وإغراقا في الخرافات. زادت ممارسات التوبة والندم، من مثل الجلد بالسوط، ونصبت محاكم التفتيش الاسبانية للكشف عن الهراطقة والمسيحيين موضع الشك. وخُيِّر اليهود الاسبان بين الطرد أو التحول والهداية. (بذلك نقص رصيد إسبانيا من المتعلمين كثيرا، وهم الذين كانوا أداة للبعث الفكري). لكن التحول كان موضع ريب أيضا، وقد مات منهم الكثيرون ضمن ضحايا محاكم التفتيش الذين بلغ عددهم 13 ألف ضحية. وأسلمت أوروبا نفسها لحرب شاملة ضد السحرة والمشعوذين والوثنيين واليهود، وضد أي أحد يفعل أى شيء لا يتطابق مع النموذج والمعيار المتعارف عليهما لدى الجميع. وكان نصيب النساء اللاتى أُدِنَّ بممارسة السحر محرقة في غاية القسوة: مطاردتهن وتعذيبهن ثم إعدامهن، في حملات جماعية في بعض الأحيان. وغالبا ما كان هؤلاء النسوة التعيسات قابلات أو معالجات. وكن بمنزلة مثوى للمعلومات الطبية والكيميائية. وكان المعتقد السائد أن من يملك المقدرة على الشفاء، فإنه قد تلقى أسرارها

وتعلمها مـن الشيطـان، لذلـك فإنـه لا بد يملك المقدرة على الأذى[2]. وكان على ـالسيميائيين أن يحترسوا حتى لا تفسر قوتهم على أنها من المصدر نفسه.

السيمياء الأوروبية

كان السيميائيون الأوروبيون بالتالى عددا وافرا، لكنه حذر ومحترس، ولم يطلقوا لخيالهم الجامح العنان. و ظهر عدد من المخطوطات السيميائية، لكنها في الأساس كانت تكرارا لما كان قد قيل سابقا، كما أُجري عدد من التجارب، لكنها كانت فى أساسها تكرارا لما كان قد أجري من قبل. قام السيميائيون بتغليف أعمالهم بالرمزية والغموض ـ مفترضين أنهم يخبئون «السر الأعظم» ـ لكن من المحتمل أن يكون هذا الغموض قد استخدم لغرض آخر: من الصعب اتهام أحد بالانحراف عن الرأي القويم إذا لم يكن في الإمكان فهم ما يقوله فعلا.

كان يشار للزئبق مثلا بأسماء الحاجب، بلسمنا، عسلنا (يعود ضمير المتكلم هنا على زمرة السيميائيين) زيت، بول، ندى مايو، البيضة الأم، الفرن السري، الفرن، النار الحقيقية، التنين السام، ترياق، المنجم المتوهج، الأسد الأخضر، طائر هرمز (رسول الآلهة عند الإغريق) والسيف ذي الحدين الذى يحرس شجرة الحياة[3]. وكانت الطيور التي تطير إلى السماء ثم تعود ترمز للتسامي والتقطير. أما الأسد المفترس فكان يشير للحمض الأكال أو الحات (الذى تتآكل فيه الفلزات). وكانت الأفعى أو التنين تمثل المادة فى حالتها غير السوية (يمكن تتبع هذه الفكرةحتى زوسيموس من سيميائيي الإسكندرية). ويرمز الزواج أو الاتحاد الجنسي إلى العملية السيميائية نفسها (يمكن تتبع ذلك حتى ماري اليهودية من سيميائيي الإسكندرية). وقد استخدمت رموز شائعة من الديانة المسيحية لوصف العمليات السيميائية. كان التوازى قائما بين الموت السيميائي وإعادة ميلاد الفلزات وبعث المسيح، وبين الثالوث الإلهى المقدس وثالوث الملح والكبريت والزئبق، وهي التى كانت تعد جزءا من جميع الفلزات.

والسؤال الذى يتبادر إلى الذهن عند هذه النقطة هو: إذا كان عندهم سر ثمين بهذا الشكل، بحيث لابد أن يكتب بالشفرة، إذن لماذا كتب

السيميائيون كتبا ـ سواء مشفرة أو غير مشفرة ـ مجازفين بأن يتمكن أحد من فك الشفرة ومعرفة السر؟ إن إحدى الإجابات المحتملة هي المكسب الذى يحصلون عليه من بيع الكتب إلى سيميائيين آخرين. كان معظم السيميائيين من رجال الدين (وهم المجموعة الأكثر أهلية لمعرفة القراءة والكتابة) المعدمين (إما نتيجة للظروف، وإما أنهم أخذوا على أنفسهم عهدا أمام الكنيسة ألا يتملكوا شيئا). وفى الوقت الذى كانوا يدَّعون فيه أنهم يحترفون السيمياء من أجل مجد الكنيسة المسيحية، فإن الكنيسة تؤيد هذه الأعمال حتى النهاية. كان لابد من شراء المعدات، وكانت الأجهزة الزجاجية رديئة سهلة الكسر. وكان لابد من مضاعفة أجر الحرفيين عدة مرات ليقبلوا العمل في سرية، لأن السيميائيين لم تكن لديهم موافقة من الجهات العليا، أو حتي ثقة في جيرانهم. وقد يكون السبب خوفهم من أن يكتشف أحد ما كانوا يقومون به من أعمال ويحاول أن ينتزع منهم السر، الذي لايملكونه، بالقوة.

ومهما كان الدافع وراء ذلك، فإن هالة الغموض التي كانت تحيط بالكتابات وجو الأسرار الذى رافق الممارسة، كل ذلك ولد موجة من عدم الثقة فى صنعة السيمياء. كان هناك فصيل آخر من السيميائيين لم يفعل الشيء الكثير لتهدئة النفوس المتوقدة للعلم والمعرفة، لكنه كان ذا روح مبدعة. نأوا بأنفسهم عن الاعتماد على أي سلطة استخفافا وتحديا لهذه السلطة، لقد ترفعوا فوق مستنقع الغموض ليكتشفوا الطريقة الحقيقية لاكتساب الذهب، إنهم السيميائيون الغشاشون.

السيميائيون الغشاشون

خلقت الحروب المستمرة ولعبة القوى في القرنين الرابع عشر والخامس عشر الحاجة الشديدة إلى الذهب، وقد استغل السيميائيون الغشاشون ذلك فأطلقوا العنان لخططهم التى تتلخص فيما يلي: اكتشفْ النبلاء الأقوياء الذين هم فى حاجة إلى تمويل، ثم قدم عرضا مسرحيا مؤثرا لإقناعهم بالاستثمار، اجمعْ كل ما تقدر عليه ثم اهرب للنجاة بجلدك.

ولاكتساب ثقة عملائهم، كان هؤلاء الغشاشون يضفون الأبهة والغموض على أنفسهم، فكانوا يخلطون أشياء غريبة وغير مفهومة ـ بعضها مع بعض

ـ لينتجوا الذهب باستخدام مراجل ذات قيعان مزدوجة وقضبان مجوفة ومسدودة بشمع أسود أو قطع غليظة من المعادن أو الفحم التي تحتوي أصلا على كميات صغيرة من الذهب. وفي حيلة أخرى، كانوا يأخذون مسمارا من الحديد نصفه مطلي بالذهب ويغطونه كله بدهان أسود، وعندما يوضع هذا المسمار في المذيب المناسب الذي يذيب الدهان الأسود، فإن المسمار يبدو وكأنه قد تحول إلى ذهب. ويمكن أن يغمروا قطع النقود المصنوعة من سبيكة الفضة مع الذهب (والتي كانت فى مظهرها بيضاء) فى حمض النيتريك الذى يذيب الفضة من السطح فتبدو النقود وكأنها تحولت إلى ذهب، ويمكن مشاهدة بعض هذه القطع النقدية في المتاحف اليوم.لانملك إلا الإعجاب بهؤلاء الغشاشين، ونتساءل أيهما أفضل ككيميائي: المتعلم أم المخادع؟

لم تكن تلك اللعبة خالية من المخاطرة. فقد يقرر العميل المتعجل حبس الغشاش ليستخلص منه السر بطريقة مباشرة، وقد يقوم بعد فترة من الزمن، إذا فقد الثقة فيه، بالقبض على المجرم وشنقه لقاء خداعه. كان الموت قدر الكثيرين المؤكد، بما فى ذلك إحدى السيميائيات الإناث، وهى ماري زجيلترين، التي أحرقت على الخازوق في العام 1575 . ويقال إن أحد النبلاء الألمان كان يحتفظ بمشانق مطلية بالذهب خصيصا لاستخدامها مع السيميائيين الغشاشين. وقد أدى انعدام الثقة في هؤلاء الغشاشين، والرعب الذي ترافق مع السحر الأسود ـ الذي كان البعض يمارسه ـ إلى ظهور مرسوم الزعماء الدنيويين والروحيين ضد السيميائيين، وضد كل من توجد في حوزته أجهزة أو أشياء تتعلق بالسيمياء. امتلك الرعب الأخوة الدومنيكان حتي أنهم أعلنوا أن رجال الدين السيميائيين محرومون من الكنيسة، أما دانتى فقد استودع روحه السيميائية عند الشيطان. وبذلك قُضي على أي زخم للتجريب الكيميائي كان موجودا قبل ذلك.

الدخول إلى عصر جديد

انكسر الجمود مع اقتراب نهاية القرن الخامس عشر. دخلت الطباعة الحديثة مجال التطبيق حوالي سنة 1450 . وفي العام 1464استخدم إيرل وارفيك البارود والمدافع في دك حصن بامبورو مغيرا بذلك وجه الحرب

مرة وإلى الأبد. وصاحبت التغييرات السياسية التقدم التقنى. سقطت القسطنطينية في أيدي الأتراك العثمانيين سنة 1453، وتفرق علماؤها في كل أرجاء أوروبا . وفي السنة الفاصلة 1492، استقرت إسبانيا نهائيا لفرديناند وإيزابيلا اللذين مولا رحلات كولومبوس.

صاحبت التغيرات الفلسفية كلا من التغيرات التقنية والسياسية. كانت حركة النهضة الأوروبية المعارضة للتقليد والتمسك بالنصوص قد بدأت تضطرم خلال القرن الرابع عشر، وبحلول القرن الخامس عشر شكلت النهضة التغييرات الخاصة بها. غير أن ذلك لم يكن بالضرورة يبشر بالخير بالنسبة للسيمياء. فقد قال أحد محركي عصر النهضة، وهو بترارك: «إن الذين يبحثون عن فهم أسرار الطبيعة أغبياء» (4)

تمخضت محاولات السيمياء لصنع الذهب عن الصوفية والسحر، وفسدت السيمياء نفسها بفعل الخداع والدجل، وحكم عليها أن تذبل وتذوي فوق كرامتها. وبالرغم من ذلك، فإن الدراسات السيميائية المتعلقة بالتفاعل بين المواد وجدت تطبيقا لها بمجرد تحويرها قليلا.

حوالى 1500 : إصلاح الكيمياء

كان رفض السلطات المستقرة التقليدية هو أساس الإصلاح في الكيمياء، تماما مثل الإصلاح الدينى بواسطة مارتن لوثر في النقطة نفسها من التاريخ. وقد لا يبدو مثل هذا التصرف تحديا جريئا لهذه الدرجة، بمقاييس اليوم، لكن علينا أن نتذكر أن السلطات المستقرة موضع التحدي في القرن السادس عشر، كانت تملك آلاف المؤيدين الذين يستشهدون بها. أما المعارضون فكانوا يتعرضون للأيدي الثقيلة (كانت محاكم التفتيش الإسبانية بكل الرعب الملازم لها في أوج قوتها في كل محفل). قاد هذه المواجهة أشجع الناس الذين كانت تحركهم أفكار عظيمة. كانت معارضة السلطة الدينية تعد عملا ثوريا لدرجة أن ذلك قد أدى إلى اندلاع الثورات المدنية والاضطهاد والحروب الدينية الدموية. صاحب الإصلاح الكيميائي إراقة دماء أقل، لكنه كان ابتعادا جذريا عما كانت عليه الأمور. كانت الفكرة التي حركت عملية الإصلاح الكيميائي هي أنه يمكن استخدام السيمياء من أجل أشياء أخرى غير صناعة الذهب، أي أنها يمكن أن تستخدم لصناعة الدواء.

قد يبدو ذلك أمرا معتدلا، وبالقطع ليس ثوريا، لكن إذا تذكرنا أن تقديم هذا الاقتراح كان يعني رفض تعاليم السلطات الطبية العتيقة المقدسة، جالينوس، أبوقراط وابن سينا، سندرك كم كان هذا ثوريا. كان ذلك موقفا جذريا للدرجة التى يتطلب فيها ملهما خاصا به في قوة وفعالية لوثر ليفجره. وجد هذا التطبيق الجديد للسيمياء في الطب «الياتروكيمياء» بطله في فيليبوس ثيوفراستوس أوريولوس بومباستوس فون هوهنيهايم ـ المعروف أيضا باسم باراسيلسوس.

باراسيلسوس

باراسيلسوس اسم مستعار، صكه حامله لنفسه ليوضح تفوقه على الشخصية الطبية الإغريقية القديمة سيلسوس. وقد ولد حوالى سنة 1490، (ربما 7 سنوات أصغر من لوثر)، من المحتمل قرب أينشيديلن، في إقليم شغايز ـ منطقة تعدين الرصاص في ألمانيا. التحق في سن 16 بجامعة بازل، لكنه هجر الدراسة ليتعلم السيمياء على يد هانز ترايثيميوس، رئيس دير الرهبان في سبونهايم Sponheim. ولما وجد باراسيلسوس أن هذه الدراسة لا تشبع رغبته كذلك، هجرها ليعمل في مناجم البترول (Tirol).

وقد تعلم الخواص الفيزيائية للمعادن والخامات والفلزات والمياه المعدنية في أثناء عمله في المناجم، كما لاحظ الحوادث والأمراض التي كانت جزءا من حياة عمال المناجم، طاف باراسيلسوس خلال أوروبا على مدى السنوات العشر التالية ملتحقا للدراسة بكل جامعة مشهورة تقريبا. وربما يكون قد سافر بعيدا حتى القسطنطينية ومصر وتارتاري، وكان يتكلم مع الجميع ويتعلم منهم مثل الغجر والسحرة والمشعوذين والدجالين والقابلات وقطاع الطرق والمحكوم عليهم في جرائم، واللصوص.

وبنهاية هذه الفترة، كان باراسيلسوس قد جمع كمية معقولة من المعلومات، يتعلق أغلبها بالعلاج والمداواة، وعلى الرغم من أنه من المشكوك فيه أن يكون قد حصل على أي درجة علمية في الطب، إلا أنه أعلن نفسه طبيبا، وبدأ في ممارسة العلاج، ولم تكن الأدوية التي يصفها أدوية تقليدية من الأعشاب التي وصفها جالينوس، لكنها كانت علاجا شعبيا من خبرته الخاصة، يتكون من مزيج من أوراق الورد المختلفة مع التوابل المعطرة برائحة

طيبة، كما كان يصف أدوية من اكتشافه الشخصي ومن خبرته في السيمياء.

كان هدف السيمياء دائما هو التحول، وبالنسبة للسيميائيين الأوروبيين فإن ذلك يعني التحول من فلز أساسي إلى الذهب، غير أن بعض السيميائيين، من مثل جون من روبيسيسا، تبنوا المفهوم الشرقي للهدف من التحول، وهو تحول الجسد المريض إلى جسد صحيح باستخدام أكسير سيميائي، لكن باراسيلسوس، من جهة أخرى، وسع تعريف السيمياء ليشمل أي عملية تجعل من المواد الطبيعية شيئا جديدا، (فالخباز سيميائي عندما يخبز الخبز، وزارع الكروم لأنه يصنع النبيذ، وكذلك النساج عندما يصنع الملابس)[5]. وقد ذهب باراسيلسوس بعيدا للدرجة التي تصور فيها وجود سيميائي في الجسم يقوم بتوجيه الهضم، وأطلق عليه: «أركيوس» Archaeus، أي البدائي أو العتيق. لكنه كان يعتقد أن أهم استخدام للسيمياء هو تحضير الأدوية التي تصلح الاتزان الكيميائي للجسم الذي اهتز بفعل المرض.

وفي هذا السياق أخذ باراسيلسوس يعمل على تحضير العلاجات الكيميائية بالمزج. وأجرى باراسيلسوس، مايمكن أن يكون أول سلسلة للتفاعلات الكيميائية المنتظمة، بتعريض عدد كبير من الفلزات لمجموعة قياسية من العمليات، وحصل على سلسلة من الأملاح (كان يسمي محاليلها بالزيوت) لاستخدامها كأدوية. وربما يكون باراسيلسوس هو أول أوروبى يستخدم مسحة من الأفيون (مستخلص كحولي للأفيون) وكان يسميه اللاودونوم ـ مستحضر أفيوني ـ لمعالجة المرض. وربما كان أثر الأفيون مخدرا أكثر منه علاجا. ونحن لا نعرف إلى أى مدى أطلق العنان لهذه الوصفات (إذا كانت هناك أي وصفات). لكننا نعلم أن كتاباته لم تكن لها أهمية ثابتة لأنها كانت جزئيا غريبة وهائمة تنتقل من موضوع لموضوع، وأسلوبها مضلل. وقد استخدم باراسيلسوس كذلك الدواء الجديد نسبيا (منذ أيام جالينوس)، الإيثانول المقطر، ويقال إنه كان أول من استخدم كلمة «الكحول» لوصف روح النبيذ المقطرة هذه. وأصل كلمة «الكحول»، « الكُحّل» أو «الكُحُل» (Al-kuhl, Al-kohol)، إنها اسم لشيء كان يستخدم لتجميل العيون في الشرق، ثم أصبح يطلق على أي مسحوق مفتت تفتيتا دقيقاجدا، ثم أصبح يقال لـــ «أفضل أو أرق جزء في المادة»[6].

ويتضح من تقارير باراسيلسوس المتسقة الثابتة، أنه كان يعتقد أن الكحول

هو أحسن جزء في النبيذ، وذلك كما ذكر في تقاريره، أنه شرب كمية كبيرة منه، وأنه قد انسحب بعد ذلك ليقضي ليلته على أرضية الحانة.

ومهما كانت العلاجات التى قام بها باراسيلسوس حقيقية أم ظاهرية باستخدام الأملاح والأفيون، فإن أعظم انتصار له كان استخدام الزئبق لمعالجة الزهري، مرض العصر الجديد(7). وإذا كان مرض الزهري يوصف اليوم بأنه مرض بطيء التطور، يسبب قروحا للأجهزة التناسلية، ويؤدي إلى عواقب وخيمة إذا أهمل، فإنه في أوروبا سنة 1495 كان المرض نفسه يوصف بأنه يسبب بثرات تغطي الجلد من الرأس إلى القدم وتسلخ جلد الوجه ويؤدي إلى الموت في غضون بضعة أشهر. وبحلول القرن السادس عشر، يبدو أن الزهري قد تطور إلى شكل قريب للمرض المعروف لنا اليوم (يسود اعتقاد بأن الميكروب قد طور شكلا أقل قسوة ليظل الضحية على قيد الحياة فترة أطول، مؤكدا انتشارا أوسع للميكروبات). لكنه ظل مع ذلك مرضا مرعبا لا تغني معه العلاجات التقليدية لأبوقراط وابن سينا وجالينوس ولاتقدر عليه أدوية الأعشاب. غير أن الاستخدام الموضعي للزئبق قد تمكن منه في النهاية. وفي الحقيقة لم يكن هناك علاج أفضل من ذلك حتى حلول القرن العشرين.

وربما سمع باراسيلسوس عن هذا العلاج في أثناء سفرياته (ففي هذا الوقت وصف بهافا ميستا الزئبق لعلاج الزهري الذي جلبه البرتغاليون معهم إلى الهند)(8). وقد يكون الاكتشاف قد حدث اتفاقا على أساس تبني باراسيلسوس لتوسيع التطبيق لنظرية الزئبق والكبريت للسيميائيين المسلمين حتى تدخل في مفهوم الثالوث الأساسي: والذي يتكون من الزئبق (النفس أو الجوهر)، والكبريت (الروح أو المزاج العقلي)، والملح (الجسد). وبالمقارنة بحالة النجاح في العلاج، فإنه لم يكن هناك سجل لأعداد الناس الذين تأثروا في أثناء التجريب بجرعات لم تكن كافية أو كانت كبيرة. كان يملك موهبة الملاحظة، فمثلا قام بوصف العلاقة بين البلاهة في الأطفال، وتضخم الغدة الدرقية في والديهم. أما أهم ما ساهم به في الطب، فهو أن الأطباء لابد أن يعملوا وفق ما يشاهدونه وليس بالتطبيق الأعمى للنصوص.

ومنحته نجاحاته ثقة (لم يكن يفتقدها أبدا في الحقيقة) لينتقد الأطباء في ذلك الوقت مشيرا إلى جهلهم وجشعهم. ومع ذلك ، فقد قال باراسيلسوس

عن الياتروسيميائيين (أي السيميائيين المعالجين):

إنني أطري الـ... السيميائيين المعالجين، لأنهم لايرافقون المتسكعين الباحثين عن الجمال، الذي يرفل في الساتان والحرير والمخمل... لكنهم ينصرفون إلى عملهم أمام النار ليلا ونهارا. لايذهبون للتنزه، لكنهم يبحثون عن إعادة البناء في المختبر، ويرتدون ملابس جلدية ومئزرة من جلود الحيوان يمسحون بها أيديهم، ويدفعون بأصابعهم في جمرات الفحم والمخلفات والقاذورات، وليس في الخواتم الذهبية، وهم ملوثون بالسخام، وقذرون كالحدادين وعمال الفحم، وليس لهم أي مظهر... وهم لا يثنون على علاجاتهم لأنهم يعلمون جيدا أن العمل هو الذي يثني على الممارس وليس الممارس على عمله... لذلك فهم يدعون كل شيء جانبا، ويشغلون أنفسهم بالميزان، يتعلمون خطوات السيمياء(9).

وحوالى سنة 1525، عندما كان باراسيلسوس في أواخر الثلاثينيات من عمره، لاحت له فرصة عظيمة عندما استدعي إلى بازل ليقدم استشاراته حول إصابة ساق جوهانس فروبن المشهور بحب الخير وإحياء الآداب الكلاسيكية، وقد وصف باراسيلسوس علاجا أقل قسوة من البتر الذى كان واردا، تمكن فروبن من النجاة، ونسب لباراسيلسوس الفضل في الشفاء. كما أنه وصف العلاج الناجع لأحد محبي الخير المشهورين الذى اتفق أن كان يقيم عند فروبن في ذلك الوقت، وهو « أرازموس»، مما اكسب باراسيلسوس مكانة طبيب المدينة في بازل. وبعد ذلك بقليل، بدأ في إعطاء المحاضرات في الطب في الجامعة المحلية.

كانت المحاضرات خروجا تاما على التقاليد: إذ كان يلقيها بالألمانية وليس باللاتينية (ونلاحظ هنا أن لوثر اتخذ الخطوة الراديكالية بترجمة الإنجيل من اللاتينية إلى الألمانية)، وكانت تحتوي على معلومات عملية أكثر من النظرية. ولم يقم باراسيلسوس بنبذ أعمال جالينوس وابن سينا فقط، بل يقال إنه قذف نسخة من كتاب «القانون» لابن سينا في نار أو قدها الطلبة في الهواء الطلق، وعبر عن أمله في أن يكون مؤلفه في الظروف نفسها. ونلاحظ هنا كذلك التطابق مع لوثر، فعندما كان لوثر منفعلا خوفا من المرسوم الرسمي البابوي بحرمانه من الكنيسة ـ كان يسمى أمرا رسميا بابويا ـ قام علنا، وفي وقار ورزانة، بحرق هذا الأمر الرسمي.

تعاظمت سمعة باراسيلسوس في العلاج كلما ازدادت ممارسته، لكن، ولسوء الحظ كذلك، ازدادت صفوف أعدائه . ضمت صفوف هؤلاء الأعداء أطباء تمكنوا من التوصل إلى أنه لايحمل درجة علمية، وبالتالى ليس مؤهلا،

وضمت كذلك صيادلة شعروا بأنهم حرموا من دخل شرعي لأن باراسيلسوس كان يفضل أن يمزج أدويته بنفسه. وقد بدأ أعداؤه في اكتساب القوة عندما توفي نصيره وراعيه «فروبن» بعد عامين من حادثة علاجه (وليس معروفا إذا كانت ساق فروبن لعبت دورا في ذلك أم لا).

وبلغت هذه العداوة المتنامية ذروتها عندما رفض الكاهن «كورنيليوس فون ليتشتينتلس» أن يدفع لباراسيلسوس الأجر المرتفع الذى كان ـ فيما يبدو ـ قد وعده به. كان الكاهن يشكو من ألم مبرح في بطنه، لكنه شفي عندما تعاطى القليل من أفيون باراسيلسوس. وانحازت المحكمة إلى جانب الكاهن، وقام باراسيلسوس دون خجل بإعلان رأيه في هيئة المحكمة. وأقنعه أصدقاؤه فيما بعد أنه من الحصافة أن يغادر بازل في الحال.

ولدى خروجه مطرودا من بازل، بدأ باراسيلسوس جولة جديدة من الترحال انتهت عندما بلغ الخمسينيات من عمره ودعاه رئيس الأساقفة إيرنست ليستقر في سالزبرج في حمايته شخصيا. إلا أنه توفي بعد بضعة أشهر فقط، ومثل الكثير من تفاصيل حياته، ليس معروفا على وجه اليقين سبب موته. فيقول البعض انه قد ألقي به من ارتفاع عالٍ بواسطة أعدائه، بينما يقول آخرون إنه مات منغمسا في شهواته وملذاته. ويقول البعض إنه مات في سكينة في أحد ملاجئ الفقراء، وهو ما يصعب تصديقه أبدا.

وبالرغم من وجود كيميائيين آخرين ذوى سمعة، مثل باراسيلسوس، يعتقدون في الجمع بين المعلومات العلمية الكيميائية والبحوث النظرية، وأن اتجاه البحث لابد أن يكون براجماتيا (عمليا)، إلا أنهم لم يتدافعوا ليكونوا معه، نظرا لتهوره وصراحته الفائقة وتجاوزات أتباعه. تضمنت هذه التجاوزات استخدام كبريتيد الزئبقيك لعلاج الصرع، وكبريتات الزنك (الخارصين) لعلاج قصر النظر، وكبريتيد الرصاص لأمراض الطحال، وكبريتيد الحديد للشفاء من مرض السكر، وأكسيد الزئبقيك لعلاج كل حالات التوعك، على الرغم من تأثيرات الزئبق السامة المعروفة جيدا في ذلك الوقت، وهي سقوط الأسنان، والشلل واضطراب الأعصاب والموت. اتخذ هؤلاء الكيميائيون الآخرون المشهود لهم بالكفاءة طريقا أكثر حكمة: ألفوا الكتب. كان هذا الاتجاه مفضلا نظرا للزيادة في دعم التعليم ولاختراع الطباعة ذات الحروف المتحركة سنة 1450. أصبحت المعرفة الكيميائية

مقننة ولا تخضع بعد ذلك لأخطاء الناسخين، ومتاحة بكميات أكبر وبأسعار أرخص كثيرا.

الكيميائيون الجهابذة الجدد: بيرينجوتشيو وأجريكولا

كتب الإيطالى «فانوتشيو بيرينجو تشيو» كتابا بعنوان «عن التقنية الحرارية»، ونشر سنة 1540، يتعرض بالتفصيل لتحليل وصهر الخامات الرئيسية للفلزات ـ الذهب والفضة والنحاس والقصدير والحديد والرصاص والزئبق والسبائك. ويتناول الكتاب كذلك السباكة وصناعة النواقيس والمتفجرات وأعمال النار وبعض السيمياء. وقد اصبح هذا الكتاب مرجعا نموذجيا في صناعة الفلزات خلال القرن السابع عشر، حيث كان أول كتاب مطبوع في الميتالورجيا وكيمياء الميتالورجيا.

وقد كتب «جورجيوس أجريكولا» عن الطرق الجيولوجية والميتالورجية. ومع أنه كان على علم بأعمال «بيرينجوتشيو»، ونسخ بعضا منها، إلا أن «أجريكولا» كان يشدد على التجارب والملاحظات الفردية، وتضمنت كتبه ـ التى استخدمت كمراجع لأكثر من قرن من الزمان ـ تعليمات واضحة ووصفات كانت خير عون للصناعات الكيميائية في مهدها في ذلك الوقت. ويتكون مؤلفه «عن الفلزات»، الذى كتب عندما كان أجريكولا في الواحدة والستين من عمره، من 12 كتابا (كان الكتاب وقتها تقريبا في حجم مايمكن أن نعتبره فصلا الآن)، عن التعدين والميتالورجيا والجيولوجيا. وقد زود الكتاب بصور فخمة مطبوعة من رسوم على الخشب. ناقش أجريكولا في مؤلفاته جيولوجيا الخامات والمساحة وتصميم المناجم والمضخات والتهوية وقوة المياه. وقد وصف التحليل ومعالجة الخامات قبل الصهر وخطوات الصهر والتنقية . كما ناقش إنتاج الزجاج والكثير من الكيماويات المستخدمة في عمليلات الصهر. ظل هذا الكتاب يستخدم كمرجع ومرشد للعاملين في المناجم والميتالورجيا على مدى الـ «200» سنة التالية . وقد اكتسب الكتاب أهمية بالغة حتى أن المهندسين «هوفر» و«هوفر» (عرفا فيما بعد باسم الرئيس والسيدة هربت هوفر)، قاما بترجمته إلى الإنجليزية في العام 1912.

وقد ضمن أجريكولا كتابه بعض الفقرات النظرية في الكيمياء، لكنها

كانت عملية وحذرة فيما يتعلق بالتحولات، ولم تكن تحتفي بـ «باراسيلسوس». كان واحدا من أكثر نقاد باراسيلسوس عنفا هو أندرياس ليباو أو «ليبافيوس» باللاتينية.

ليبافيوس

ولد ليبافيوس في ألمانيا حوالى سنة 1560، لأب نساج. وقد التحق بالمدرسة الثانوية الألمانية. وفي سن الثامنة عشرة التحق بالجامعة في ويتنبرج (جامعة هاملت).

ويشهد هذا الإنجاز على عناد وتميز ليبافيوس، ففي هذا الوقت لم يكن يلتحق أبناء الطبقة العاملة بالجامعات إلا نادرا (كانت هناك بعض الجامعات للنساء فقط، لكنها كانت أكثر ندرة). وكان ليبافيوس هو الآخر يمتطي قمة ما بعد الإصلاح، وحيث إن الدين قد أصبح أكثر خضوعا للجدل منه كحقيقة من حقائق الحياة، فقد غدت هناك حاجة لزعماء دينيين جادين ومتعلمين ومؤثرين في كل من البلاد البروتستانتية، والكاثوليكية. وقد أدى ذلك إلى انتعاش التعليم لدرجة أنه شق طريقه إلى الطبقة العاملة. كان مؤلف ليبافيوس الأساسي ـ السيمياء ـ يعتبر أول كتاب في الكيمياء، وكان واضحا وعلى درجة عالية من تنظيم الكيمياء الوصفية المعاصرة. ويشغل متن الكتاب والملاحق ما يزيد على ألفي صفحة، ويحتوي على 200 شكل، ويقع في أربعة أجزاء: «إيتشاريا» (معني بالتقنية والأجهزة بما في ذلك الأفران وأجهزة التطاير والتقطير والبواتق والأهوان والقارورات)، «كيميا» (وتحتوي على تفاصيل التحضيرات الكيميائية)، «أرس بروباندي (وتحتوي على طرق التحليل الكيميائي)، وجزء في نظرية التحول.

ويورد ليبافيوس في «كيميا» تعليمات واضحة لتحضير الماء الملكي وحمض الكبريتيك، ويورد كذلك مايمكن أن يكون أول توجيهات لتحضير حمض الهيدروكلوريك بتسخين الملح المائي في وجود الطفلة. ومن المحتمل أن يكون ليبافيوس هو أول من أشار إلى إمكان تحضير حمض الكبريتيك بحرق الكبريت مع النيتر (نترات البوتاسيوم). وقد أثبت أن الحمض المحضر بهذا الشكل مماثل تماما للحمض المحضر بواسطة تقطير الزاج الأخضر (كبريتات الحديديك المائية)، أو الشب (كبريتات الألومنيوم والبوتاسيوم المائية). وقد

وصف تحضير كلوريد القصديريك (الذي يحضر بتسخين القصدير مع كلوريد الزئبقيك) واللون الأزرق الخاص بالأمونيا في وجود أملاح النحاس ـ للمرة الأولى على الأرجح. وقد قسمت «أرس بروباندي» إلى جزأين: «سيفاسيا» و «إيرجاسيا». تضمنت سيفاسيا معلومات عن استخدام الموازين وعن الرموز السيميائية وطرق تحضير البواتق والصهور والأحماض. أما إيرجاسيا فقد حوت معلومات عن تقنية التحليل للفلزات والمعادن والمياه المعدنية.

وأورد ليبافيوس في «السيمياء» تصميما لمختبر كيميائي. وبالإضافة للمختبر الأساسي، فإن «البيت الكيميائي» النموذجي كان يضم مخزنا كيماويا وحجرة للتحضير وحجرة للمعادن وحجرة للتبلر والتجمد وحجرة لحمامات الرمال والماء وحجرة للوقود وقبو للنبيذ. ومع ذلك فلم يورد حجرة للموازين، لأن القياسات الدقيقة لم تكن تستخدم بعد، ولم تكن الكيمياء علما كميا بعد.

وهكذا نرى أن فنون الكيمياء قد تقدمت قليلا في القرنين الرابع عشر والخامس عشر (باستثناء فن الكيميائيين الغشاشين على الأرجح). ويبدو أن التقدم التقني للكيمياء في القرن السادس عشر كان يسير على استحياء، ولايمكن تسمية هذه الفترة بالوقفة القصيرة. وخلال هذا العصر من الإصلاحات، عانت الكيمياء من إصلاحها الخاص. كان يُعاد توصيف وتعريف أهداف الكيمياء من جديد، كان كل من التعدين والطب والسيمياء يربح بنفسه. وحوكمت الرموز العتيقة، وطرح التحدي بإيجاد رموز جديدة. وتأكدت الحاجة إلى تحضيرات كيميائية من أجل العلاج مما أثر إيجابيا على البحوث الكيميائية.

وقد قامت الإصلاحات الكيميائية بإعداد المسرح بطرق عدة لما سنسميه لاحقا «الثورة الكيميائية»، لكن جاءت ردود الفعل مع الإصلاحات، فكانت هناك بعض الخطوات المترددة المتحيرة ـ للأمام وللخلف ـ كما سنرى في القرن السابع عشر.

٦ من حوالى سنة ١٦٠٠
فلاسفة النار

- الثورة العلمية
- حوالى العام 1600: الشواش، والاحتراق، والكيميائي الشكاك
- مسألة الاحتراق

كانت أوروبا تعيش في عصر مظلم خلال القرن السابع عشر، وقد شهد الجزء الأول من هذا القرن الحرب الأهلية الإنجليزية التي جُزَّ فيها رأس تشارلز الأول. أما الجزء الأخير من القرن فقد شهد الثورة الإنجليزية البيضاء، حيث عُزِل جيمس الثاني في سلام، وحل محله العاهل الذي اختاره البرلمان. وعلى أرض القارة الأوروبية كانت حرب الثلاثين عاما، آخر الحروب الدينية الكبرى في أوروبا، لكنها كانت أولى المعارك القومية التي عمت أوروبا. انتهى الإقطاع في معظمه، لكن المشاحنات حول تركات وأملاك هذا الإقطاع قد سببت من التشرد أكثر مما جلبت من الحرية. أدت الاكتشافات الجغرافية والاستعمار إلى تدفق المعلومات والمنتجات الجديدة، لكنها في الوقت نفسه أعادت ترسيخ ممارسة العبودية التي أصبحت مهجورة وملغاة. تقبل الأوروبيون عادات تناول الخمر والدخان والقهوة، لكن العادات الصحية السليمة كانت لا تزال بعيدة جدا. ويعطينا «صمويل بيبيز» صورة ضمنية عن روائح لندن في القرن السابع

عشر، عندما أغرقت (طفحت) مجاري جاره في الطابق الأسفل لمنزله، لم يستنتج ذلك إلا بعد أن خاض فيها برجليه.

كان العصر عصر الثورة العلمية بالنسبة للعلوم الكبيرة مثل الفيزياء والفلك. أما بالنسبة للكيميائيين الذين كانوا يتعاملون مع الجزئيات الملتوية غير المرئية فإن المبادئ الأساسية كانت لا تزال غامضة. كان هناك شعور بأن النظرية الأساسية في أبحاثهم، وهي النظرية القائلة إن المادة تتكون من عدد من العناصر، وإن هذه العناصر موجودة في كل المواد، لم تكن تعطيهم إجابات شافية، لكن لم يكن هناك ما يكفي من المعلومات عند الكيميائيين لتعريف جديد، لكنهم اقتربوا من ذلك في نهاية القرن السابع عشر.

الثورة العلمية

كان «رينيه ديكارت»، الفيلسوف الرئيسي الذي استنهض الثورة العلمية، محظوظا. كان فرنسي المولد، وقد التحق بالجيش في بداية العشرينيات من عمره، وحارب في المراحل الأولى لحرب الأعوام الثلاثين. وفي خضم أحداث هذه الحرب، قام بتطوير فلسفته الصارمة بقسوة، والتي لم تسمح إلا بفرضية واحدة «أنا أفكر، إذن أنا موجود :Cogito ergo sum ». وقد دفع ديكارت والفيلسوف الإنجليزي فرنسيس بيكون بأن الحقيقة يمكن الوصول إليها فقط بالتحليل الدقيق المتتابع الخطوات، الأمر الذي يتضمن مراجعة كل خطوة حذر السهو والخطأ، وعدم قبول أي شيء مالم يثبت بوضوح أنه حقيقة. وتمتد أصول المنهج العلمي الحديث لتأخذ بدايتها من هذين الفيلسوفين، فسنجد فرنسيس بيكون يقول في لغة رشيقة: «ليس علينا أن نتخيل أو نفترض، لكن علينا أن نكتشف ما الذي تصنعه الطبيعة أو ما الذي هي مؤهلة لصنعه»[1].

ويبدو هذا النهج في ضوء أسلوب تفكيرنا الحديث ليس أكثر من المنهج التجريبي السديد، لكن في عصر كان الإلهام فيه أو الوحي السماوي هو الدليل والبرهان، فإن ذلك كان ثورة. أكمل ديكارت وبيكون ومعاصروهما ـ سبينوزا(هولندي منبوذ وخبير في صنع العدسات)، وهوبز (معلم إنجليزي مهزوز الشخصية)، وليبنتز (رياضي بارع وفيلسوف ومؤرخ وعالم من ألمانيا)

ثورة العلماء، وذلك برفض الاعتماد على الرموز القديمة مهما كانت موقرة. وقد نظروا للعالم وهم سابحون ومحاطون باكتشافات نيوتن وجاليليو، كآلة محكومة بقوانين ثابتة يمكن فهمها، وليس اجتهادا سماويا.

بيد أن قوانين نيوتن عن الحركة كانت تنطبق على الأجسام الكبيرة ـ طلقات المدافع والأقمار ـ ولم يتمكن الكيميائيون بعد من استخدام هذه القوانين في وصف التجاذب بين الذرات (هذا إذا كان الكيميائيون أصلا متأكدين من وجود الذرات). وعندما أصبحت هذه القوانين التي تتحكم في التجاذبات مفهومة أخيرا في القرن العشرين، فإن ذلك كان سيفاجئ حتى نيوتن نفسه. ومع ذلك، فإن الثورة العلمية قد زودت الكيميائيين بالتشجيع اللازم، وبينت الاحتمالات المتوقعة.

ولم تكن الثورة العلمية بلا معارضة في هذا العصر المتذبذب، فقد تبنت الكنيسة الكاثوليكية، أخيرا، وجهات نظر أرسطو ودمجتها في العقيدة المسيحية، وأصبحت أي مقولة تعارض أرسطو تعتبر هرطقة. راقب جاليليو[(2)] السماء بواسطة التليسكوب المكتشف حديثا، وحصل على دليل أن منظومة الكواكب تدور حول الشمس، كما اقترح ذلك كوبرنيكوس وكبلر (استخدم كبلر ملاحظات تايكو براهي وأخته صوفيا تلميذة الكيمياء والفلك) إلا أنه عندما سمع معارضات محكمة التفتيش ورأى أدوات التنكيل، ارتد جاليليو عن آرائه. وربما يكون قد فكر ـ وعلى الأرجح هذا ما حدث ـ في أن معاناته لن تغير من مدارات الكواكب، وقد نجد له العذر في نهاية المطاف . وفعلا، وجد له الفاتيكان المبرر على فعلته في بداية تسعينيات القرن العشرين.

كانت الكيمياء تربط العصر. فجنبا إلى جنب ازدهرت الجمعية الصوفية للسيمياء مع أكاديمية العلوم الفرنسية والجمعية الملكية الإنجليزية، وهما الجمعيتان اللتان أنشئتا خصيصا لنشر الكشوف العلمية. وقد بدأ استخدام كلمة «كيمياء» مع بداية القرن السابع عشر، لكنها كانت تعني فقط تجمع السيمياء والياتروكيمياء، ولم تصبح الكلمة عنوانا على مجال مستقل للدراسات إلا في وقت لاحق من القرن. وإذا كانت الكيمياء قد استخدمت في صناعة الدواء أكثر من صناعة الذهب، فإن ذلك راجع إلى أن الذهب والفضة من الأمريكتين قد جعلا من صناعة الذهب عملا لا يستحق الجهد. غير أن البعض كان ما يزال يجادل في صناعته، ففي سنة 1603 سجن

وعذب السيميائي الاسكتلندي «ألكسندر سيتون» في محاولة لاستخلاص أسرار التحولات التي نشرها.

وفي نهاية القرن، كان تشارلز الثاني، ملك إنجلترا، يقوم هو نفسه بمحاولات التحويل. وقد تكون أبخرة الزئبق المنبثقة من أبحاثه المختلفة قد ساهمت في مرضه الأخير. وحتى نيوتن نفسه، صاحب الجاذبية ـ الانتصار الرائع بشأن النظرة الميكانيكية عن الكون ـ بذل جهدا كبيرا في محاولات فك لغز كتب السيميائيين.

وقد اكتشف «هينتج براند» الفوسفور خلال هذا القرن، وأنتجت الياترو كيماويات على نطاق صناعي بواسطة «جوهان جلوبر». وقد ألف نيكولاس ليميري كتابه «منهج الكيمياء»، وهو كتاب واضح ومختصر، وكان نيكولاس ليميري يتعيش منه ومن محاضرات الكيمياء التي كان يلقيها. ونحن نختار «جوهانس فان هيلمونت» نموذجا لهذا العصر: فقد كان تقدميا بشكل مؤثر، وفي الوقت نفسه محبطا ومعزولا.

جوهانس فان هيلمونت

ولد جوهانس (جوان) بابتيستا فان هيلمونت في بروكسل في نهاية القرن السادس عشر لأسرة من كبار ملاك الأراضي، لذا كان من الصعب أن يجد بيئة مثقفة. وقد درس الفن في البداية، لكنه كان يعتقد أن الحصول على دبلوم هو مجرد زهو وخيلاء. لذلك لم يحصل على درجة في هذه الدراسة. وقد درس على أيدي الصوفيين واليسوعيين على قدم سواء، كما درس الكلاسيكين والمعاصرين. ودرس الطب، لكنه تخلص من كتبه بإعطائها للطلاب الآخرين بعد وقت ما، وقد قال فيما بعد إنه كان يجب أن يحرقها.

وعلى طريقة باراسيلسوس قرر هيلمونت الترحال كوسيلة لاكتساب المعرفة الطبية.

وقد حلت القيم العملية محل المثالية عنده بحلول نهاية القرن، حيث إنه حصل على درجة علمية في الطب وبدأ في ممارسته. كان بعض النجاح حليفه كطبيب، ويبدو أنه كان قادرا على تخفيف الآلام في أثناء وباء الطاعون في سنة 1605. ولا بد أنه اكتشف كم هو مزعج الطب، لأنه أعلن: «إنني أرفض أن أعيش على بؤس رفاقي البشر» أو «أن أُجمّع الثروة معرضا

روحي للخطر»[3]، وقد تحول إلى الممارسة الشخصية للبحث. وعلى أيام هيلمونت، أصبحت كلمة كيميائي تعني الشخص الذي يقوم بتحضير الأدوية والخلاصات والأملاح، أما كلمة سيميائي، المرادفة الآن لكلمة غشاش، فقد بدأت تتساقط منا. ولأن هيلمونت لم يجد اسما يصف به الشخص الذي يقوم بالأبحاث الكيميائية، فقد سمى نفسه «فيلسوف النار»[4].

كان غنيا لدرجة مكنته من التقاعد، عندها أصبح صاحب ضيعة (بالزواج)، «لقد منحني الرب زوجة تقية نبيلة. وقد تقاعدت معها... وعلى مدى سبع سنوات كرست نفسي لتقنية النار [الكيمياء]، ولتخفيف آلام الفقراء»[5]. كان له من زوجته عدد غير معروف من البنات، وابن واحد، هو فرانشيسكوس ميركوريوس. ويشيد الاسم بالتزام والده تجاه فن الكيمياء.

عندما نتعامل مع نظرية هيلمونت في الطب، فإن علينا أن نتذكر أن طب القرن السابع عشر كان متقلبا مثله في ذلك مثل الكيمياء، فقد كان الطب، ولوقت طويل، يخضع للتقاليد والخزعبلات. ومع أن باراسيلسوس قد بين أن العلاجات الجديدة يمكن أن تأتي من التحضيرات الكيميائية (فعلى الأقل أفاد الزئبق في محاربة الزهري)، إلا أن الطب كان بعيدا عن استخدام الطرق التجريبية الدقيقة. وفي الوقت الذي كان فيه باراسيلسوس يختبر تأثيرات العرق والنزيف، واستخدام الوزن النوعي للبول كوسيلة للتشخيص، وكان قريبا من تحديد الحمض المعدي على أنه حمض الهيدروكلوريك، كان مؤمنا بكل كيانه بأشياء غبية، مثل العلاج بالدود المستخرج من عيون ضفادع الطين.

كان هيلمونت يعيش في بلجيكا ـ من أملاك إسبانيا ـ في زمن محاكم التفتيش في إسبانيا. وعندما نشرت مقالة مكتوبة بقلمه (ربما من دون موافقته) تدافع عن علاج غريب للجروح، بدأت محاكم التفتيش في التحقيق في هذا العلاج، كان الجرح ينظف ويربط، أما السلاح الذي سبب الجرح، فكان يؤخذ بعيدا ويعالج بالمراهم والمساحيق الطبية. ومن دواعي السخرية أن هذه التقنية قد تكون أكثر تأثيرا علاجيا عن الطرق التقليدية التي كانت تستخدم موادا كيميائية مزعجة، أو تحضيرات قذرة من الأعشاب توضع على الجرح. ولم يكن يطيب لرجال محاكم التفتيش أن يروا العامة وهم يمارسون مثل هذه الطرق السحرية.

أدين هيلمونت بارتكاب البدع والغطرسة ومصاحبة مجموعات اللوثريين والكالفينيين. وقد اعترف هيلمونت ـ بحذر ـ بأخطائه، وتراجع عن «أخطائه المعلنة»[6]، لكنه ظل معتقلا، وبعد عدة استجوابات وضع تحت التحفظ في منزله. رفع التحفظ المنزلي بعد عامين، لكن إجراءات الكنيسة ضده لم تنته إلا بعد 8 سنوات وقبل وفاته بسنتين فقط.

كانت نظرية هيلمونت في العلاج الكيميائي مزيجا عجيبا من القديم المهجور والحديث. كان الكثيرون ينظرون إلى ذوبان الفلزات في الأحماض كدليل على التحول. كذلك كان اسم التحول يطلق على تفاعل ترسيب النحاس على حدوة حصان حديدية إذا وضعت في تيار ماء غني طبيعيا بأملاح النحاس (تسمى الإحلال في المصطلحات الحديثة). كان هيلمونت قادرا على إدراك الفرق، ولذلك أنكر أن هذه التفاعلات هي تحولات. لكن ذلك لم يصرفه عن الاعتقاد في احتمال حدوث التحولات. وقد ذكر أنه يعتقد قلبيا في تحول 8 أوقيات من الزئبق إلى ذهب بواسطة مقدار يعادل ربع قمحة من مسحوق أصفر أعطاه له أحد الغرباء.

ومن الصعب إدراك ما الذي حدث حقيقة، فالزئبق معروف بقدراته على الاتحاد، وقد يكون قد استوعب بعضا من المادة الملونة الصفراء ليصبح صلبا أصفر اللون (كانت هذه طريقة صناعة الذهب الكاذب بواسطة الحرفيين). غير أنه من الصعب تصور أن كمية بهذه الضآلة يمكن أن تفعل ذلك. قد يكون هيلمونت قد استخدم مقياسا خاطئا، أو قد يكون الشخص الذي أعطاه المسحوق قد أعطاه كذلك الوعاء ليستخدمه معه، وكان الوعاء يحتوي شيئا ما تفاعل مع المواد. كان الخداع والدجل نشطين في هذا الوقت، وكان الكثيرون قادرين على النجاح في ارتكابهما.

وهكذا استمر هيلمونت في التردد طوال حياته بين الثورية والرجعية. وقد رفض عناصر أرسطو الأربعة (تجدر ملاحظة أن ذلك كان مجازفة كبيرة بنفسه)، لكنه عاد وأقر الماء والهواء، مشيرا إلى قصة الكتاب المقدس في خلق السماوات والماء في اليومين الأول والثاني. لكنه من جهة أخرى استخدم الميزان باستفاضة، وتوصل إلى قناعة ـ بناء على ملاحظاته الدقيقة ـ بأنه في أثناء التفاعل الكيميائي لا يخلق ولا يختفي شيء.

قام هيلمونت في تجربته الشهيرة «شجرة الصفصاف» (كانت قد اقترحت

قبل ذلك بمائتي عام) بوزن بذرة الصفصاف، ثم غرسها في حوض به 200 رطل من التربة. وبعد ريها لمدة خمس سنوات، اقتلع الشجرة، وأعاد وزنها من دون التربة. وقد وجد أن وزن الشجرة قد زاد، أما التربة، فوزنها ظل كما هو. لذلك استنتج أن الشجرة قد حولت الماء إلى خشب. وتفتقد هذه التجربة طبعا دقة التحكم: كان يجب أن يزن الماء هو الآخر، لكن ذلك كان صعبا، نظرا لإراقة الماء وتسربه وتبخره. كذلك أهمل استهلاك النبات لثاني أكسيد الكربون وإخراجه للأكسجين، لأن هيلمونت لم يكن لديه فكرة أن ذلك يمكن أن يحدث. كانت الفكرة الأساسية هي: متابعة المادة بالميزان. وأي شيء يدخل إلى التفاعل، لابد أن يخرج في صورة ما.

لم ينفرد هيلمونت وحده بهذه الأفكار، فقد قام «أنجيلوس سالا» أحد معاصريه الألمان بإذابة كمية موزونة من النحاس في حمض الكبريتيك، ثم استعاد النحاس الفلزي كيميائيا، فوجد أن وزن النحاس المسترجع مساو تماما لوزن النحاس الذي بدأ به. كان سالا قادرا ـ كذلك ـ على بيان أنه يمكن أن يحضر كبريتات النحاس المائية صناعيا، المماثلة تماما للمادة الموجودة في الطبيعة، وهو مما يعد تفكيرا ثوريا في ذلك الوقت. لكن سالا لم يكن له مقام وقوة هيلمونت، لذلك فإن أعماله ـ المتميزة في ذلك الوقت ـ لم تلق التأثير الذي كانت تلقاه أعمال هيلمونت.

لم يكن تأثير هيلمونت يعتمد فقط على مقامه وسمعته. فقد كانت له إسهامات مهمة قبل قيامه بوصف فصيلة جديدة من المواد: الغاز. وهيلمونت هو الذي صك كلمة «غاز»، على أساس كلمة Chaos، بمعنى «الفوضى والشواش». ومع أن معظم الغاز الذي حضّره كان ثاني أكسيد الكربون (من احتراق الفحم، وتخمر العنب، أو من تأثير الأحماض في أملاح الكربونات) إلا أنه حصل على عينات غير نقية من أكاسيد النيتروجين (من تأثير حمض النيتريك في الفلزات) وثاني أكسيد الكبريت (من احتراق الكبريت) والكلور، وكلوريد النيتروزيل (من تفاعل حمض النيتريك مع كلوريد الأمونيوم) وخليط من الهيدروجين والميثان وأول أكسيد الكربون (من التقطير الإتلافي للمواد العضوية، ومن الغازات المعوية، التي كان يعرف أنها قابلة للاشتعال). وأطلق على حالة الغاز هذه اسم «الروح المتوحشة»، لأنه كان يعتقد أنها لا يمكن أن تحبس في وعاء أو تصبح مرئية. وعندما بدأ الكيميائيون في

ترويض هذه الروح المتوحشة (الغاز) وبدأوا في تطبيق نتائجهم على مشكلة غير قابلة للتفسير (الاحتراق) ظهرت في بطء نظريات جديدة مطلوبة للتفسير.

حوالى العام 1600: الشواش، والاحتراق، والكيميائي الشكاك

على الرغم من الاعتراف بأن الغازات موضوع يستحق الدراسة، إلا أنه كان مستحيلا أن يحدث ذلك مباشرة لأسباب تقنية، أول هذه الأسباب، كان موضوع حبس الغازات، أو منع الانتشار. فلم يكن هيلمونت يستطيع دائما تقدير حجم الغاز الذي قد يتصاعد في تفاعلاته، لذلك كان دائما تنفجر منه الأدوات الزجاجية الخام والرقيقة في تلك الأيام. وفي الواقع، كان يعتقد أنه لا يمكن حبس الغازات، وعند هذه النقطة تخلى عن الأمر برمته. بيد أن الراهب البنديكتي «دوم بيريجنون» أثبت أن الفوران في المشروب الجديد الذي اخترعه، الشمبانيا، يمكن أن يحبس في قنينات زجاجية مسدودة بلقم من قشرة شجر بلوط خاص. وكانت السدادة الناتجة عن ذلك نصرا لكل من المحتفلين والكيميائيين على حد سواء.

واستخدم كيميائي آخر هو «جين بيرنوللي» الزجاج الحارق (عدسة تركز أشعة الشمس، مقدر لها أن تصبح في القريب من الأدوات النمطية في قائمة الكيميائيين) ليشعل البارود في قارورة. وقد أجرى بيرنوللي تجاربه في نظام مفتوح وليس مغلقا ليتجنب ما أصاب هيلمونت من تكسير متكرر للزجاج. كان يمرر أنبوبة من قارورة الاشتعال إلى وعاء به ماء. واستطاع بهذا الشكل إثبات أن الغازات المتصاعدة من التفاعل تشغل حجما أكبر كثيرا من حجم البارود (وتصبح مبللة في أثناء العملية).

صمم «أوتُّو فون جويريك» مضخة هوائية عملية في منتصف القرن السابع عشر. أخذت مجموعة من العلماء الشبان على عاتقها تحديد خواص غاز هيلمونت، مسلحين في ذلك بمضخة أوتُّو فون جويريك والتقنيات الحديثة لاحتواء الغاز ـ من سدادات وأوعية بيرنوللي. ولأنهم كانوا يعملون في أكسفورد بإنجلترا، فقد أطلق عليهم، عن جدارة، كيميائيي أكسفورد: بويل، وهوك، ومايو.

روبرت بويل

ولد روبرت بويل لأسرة نبيلة حظها متذبذب. اشترك والده في استعمار جنوب غرب أيرلندا في القرن السادس عشر، فأصبح غنيا وذا تأثير، إلا أنه فقد ثروته إبان الاضطرابات، وعاد إلى إنجلترا ليلقى به في السجن متهما باستغلال منصبه في أيرلندا والأموال المؤتمن عليها. وقدبُرِّئ أخيرا (واستعاد ثروته) فاقتنى عقارات سير «والتر ـ لي» في أيرلندا. تراكمت ثروته مرة أخرى عن طريق النفوذ والصناعة، ونال منصب إيرل لمقاطعة كورك في سنة 1620. وكان بويل الابن الرابع عشر له.

ومن المهم معرفة الأصول العائلية لبويل لأنها أورثته الثروة التي أعطت له الحرية والتمويل ليمارس أبحاثه الكيميائية. حصل على أفضل تعليم متاح في ذلك الوقت. تعلم في المنزل على أيدي معلمين خاصين، ثم في «إيتون» (مدرسة خاصة متميزة). وقد سافر إلى أوروبا في رعاية أحد أخوته الكبار، حيث تعلم الفنون الليبرالية والرياضيات التطبيقية. وقد قام برحلة إلى إيطاليا في أثناء سفرياته ليرى مباشرة أعمال جاليليو الذي مات منذ عهد قريب. وأصبح مشجعا متحمسا للعلوم الجديدة.

وعندما اندلعت الحرب الأهلية في إنجلترا، عانى والده ـ الملكي النزعة ـ مرة أخرى من نكسة في ثروته، ثم مالبث أن مات. عاد بويل الشاب إلى الوطن ليحيا حياة بسيطة متوسطة في بيت العائلة. لم يكن له اهتمام شديد بالسياسة (قد يكون ذلك عين العقل، نظرا لتاريخ أسرته والجو السائد وقتها). وبعد عشر سنوات (حوالى منتصف القرن السابع عشر) انتقل بويل إلى أكسفورد، ربما سعيا وراء جو أغنى وأكثر ثقافة. وهناك قام بإجراء التجارب لفترة معينة في المساكن المجاورة لكلية الجامعة، كما اشترك في النقاش مع مجموعة تسمى الكلية الخفية. ظل بويل عازبا طوال حياته، ومعتل الصحة، ونحن نتساءل، ترى كم كان يمكن أن يوفر من صحته لو لم يصب اهتمامه على الكيمياء. فقد كان بويل، مثله في ذلك مثل الكيميائيين الآخرين، يسجل مذاق المواد الكيميائية ضمن قائمة خواصها. وكان مغرما بإعطاء نفسه وأصدقائه جرعات من التحضيرات المختلفة. انتقل بويل إلى لندن ليقيم مع أخته نظرا لاعتلال صحته. أقام بويل معملا خلف منزل أخته، أصبح فيما بعد ملتقى المثقفين ذوي الميول العلمية ومركزا للأبحاث.

كان بويل من أعظم المشتغلين بالكيمياء، وأجرى تجاربه على أنظمة كيميائية كثيرة، غير أن تجاربه على طبيعة غازات هيلمونت لاقت اهتماما حاسما هنا. وعندما علم بويل بمضخة جويريك الهوائية بدأ مباشرة في أبحاثه. كان دخله مما تركه له والده يكفيه لصنع الأدوات ولاستخدام المعاونين. كان روبرت هوك ـ أحد هؤلاء المعاونين ـ باحثا مهما في إنجازاته. وقد صنع مضخة هوائية أوصلها بويل بالقارورة الزجاجية التقليدية للكيميائيين وبدأ في إجراء تجاربه. وفي غضون بضع سنوات، اجتمع له من النتائج ما مكنه من تأليف كتاب «تجارب جديدة فيزيائية ميكانيكية، تتعلق بزمبرك الهواء وتأثيراته».

كان هذا أول عمل علمي ينشر لبويل، والعمل الذي وضع أسس شهرته. وفي هذا العمل ذكر بويل أن الصوت لا ينتقل في الفراغ، وأن الهواء كان ضروريا في الحقيقة للحياة وللنار. وقد نقح بويل ملاحظاته عن مرونة الهواء في ملحق للطبعة الثانية (ظهرت بعد سنوات قليلة)، حيث ذكر أن الحجم الذي يشغله الهواء يتناسب عكسيا مع الضغط الواقع عليه (إذا ضغط أو عصر البالون يصبح حجمه أصغر). وقد أصبح هذا التعميم معروفا باسم قانون بويل، غير أنه يسمى قانون ماريوت في فرنسا، لأن «إدمي ماريوت» وصف الظاهرة نفسها، لكن بعد بويل. ولم يعطِ ماريوت أي أفضلية لبويل ولا حتى لنفسه قائلا: إن ذلك من القوانين المعروفة جيدا عن الهواء.

وفسر بويل مرونة الهواء بافتراض أن الهواء يتكون من جسيمات محددة، كما وصفها رينيه ديكارت، وأن «كل جسيمة تحاول أن تضرب الجسيمات الأخرى بعيدا حتى لا تصبح داخل الكرة الصغيرة المطلوبة لحركة كل جسيمة حول مركزها»[7]. ومع أن هذه الفكرة كانت تفتقر إلى المعالجة الرياضية لتوضيحها، إلا أنها استبقت النظرية المقبولة الآن عن سلوك الغازات (نظرية حركة الغازات) والمبنية على حركة جسيمات الغاز.

اعتبر بويل ومعاصروه أن الهواء مادة واحدة، وأن الاختلافات في القدرة على التفاعل ترجع إلى درجة نقاء الهواء. فمثلا، شاهدوا أن الهواء الذي يتولد من تفاعل خراطة الصلب مع الحمض يشتعل إذا قربت منه شمعة، بينما هواء الغرفة لا يشتعل. وفي الواقع كانوا محظوظين أنهم لم يروا غير

ذلك: فالغاز الذي تولد كان الهيدروجين، والهيدروجين إذا خلط مع الأكسجين يمكن أن يشتعل بفرقعة.

درس بويل كذلك المشاهدات الشائعة عن الفلزات التي يزداد وزنها إذا تكلست (سخنت بشدة في الهواء). ونحن نعلم الآن أن الفلزات إذا سخنت بهذا الشكل فإنها تكتسب وزنا زائدا لأنها تتحد مع الأكسجين في الهواء. وإذا أجريت هذه العملية في إناء مغلق بإحكام (ملحوم) فإن وزن النظام ككل ـ الفلز والهواء والإناء ـ لابد أن يبقى ثابتا. وقد سخن بويل الفلزات في إناء مغلق (ملحوم) لكنه عندما وزنها، لم يأخذ في حسبانه اندفاع الهواء داخل الإناء عند فتحه بعد التسخين. وقرر بويل وجود زيادة في وزن النظام ككل، ولذلك استنتج أن الزيادة كانت راجعة إلى دخول النار إلى الإناء من خلال مسام الزجاج. وعندما اقترح على بويل أنه لابد أن يزن الإناء قبل إزالة اللحام (الفتح)، ذكر بويل أنه فعل ذلك لكنه حصل على الوزن النهائي نفسه! ربما يرجع الخطأ الى أن اللحام غير دقيق وليس لأن بويل كان له تصور سابق عن النتائج قبل إجراء التجربة مما جعله يسجل هذه النتائج الخادعة. كان بويل مستقل الفكر ومنطقيا ومنفتح الذهن أكثر من كثيرين من مفكري عصره (وأكثر من كثيرين من مفكري عصرنا في الواقع). كان يدرك أهمية دقة وصرامة التجارب. شكك رجال عقلانيون مثل «ليبنتز» في جدوى البحث التجريبي، لأنهم كانوا يعتقدون في الوصول إلى الحقيقة بالتعليل المنطقي، وأن التجارب تصلح فقط للتأكيد. لكن بويل دخل مع العقلانيين في جدال طويل، مدافعا عن التجارب كوسيلة لإثبات الحقيقة.

وجد بويل ـ المنظم والمنهجي ـ أن لغة النظريات الكيميائية غير دقيقة بشكل مثير. وحتى يجذب انتباه زملائه إلى هذه التناقضات، كتب بويل في 1661 المؤلف التعليمي «الكيميائي الشكاك». استخدم بويل في هذا الكتاب الشكل المألوف للحوار بين مجموعة من الأصدقاء ـ تيميستوس (المدافع عن نظرية العناصر الأربعة لأرسطو)، وفيلوبونوس (المدافع عن نظرية العناصر الثلاثة لباراسيلسوس)، وإليوثيرياس (مشارك غير ملتزم بأي معين)، ومسجل المناقشات (الذي لم يكن له اسم معين) وكارنيدس (الكيميائي الشكاك)، الذي عليه أن يهاجم نظريتي أرسطو وباراسيلسوس.

كان مفهوم العنصر في القرن السابع عشر في الأساس هو المفهوم

الأرسطي نفسه: العنصر هو مكون أساسي في كل المواد: فإذا اعتبرنا الكبريت عنصرا، فإن الكبريت لابد أن يوجد في كل شيء من الذهب وحتى عصير العنب، لم يكن بويل مقتنعا بهذا المفهوم للعنصر، لكنه لم يقترح أي شيء مكانه. غير أن الاقتباس التالي من «الكيميائي الكشاك » يعتبر أحيانا دليلا على أنه اقترح شيئا ما:

ولمنع الأخطاء، لابد أن أعلن ما الذي أعنيه الآن بالعناصر... أجسام معينة أولية وبسيطة لا تتقسم إلى أي شيء آخر... ومنها تتكون كل الأجسام المخلوطة بالاتحاد، وإليها تتحلل نهائيا هذه المواد(8).

ويتفق هذا التعريف مع وجهة نظر الكيميائيين في القرن السابع عشر، وكذلك مع وجهة النظر الحديثة. لذلك من المشكوك فيه أن يكون بويل قد قصد إلى أي شيء جديد. كما أنه لم يقترح قائمة جديدة. بما يجب أن يعد عنصرا، غير أن ذلك يعد من حسناته. كان بويل يفترض أن التعريفات خاطئة، لكنه لم يشعر بأنه يقف على أرضية صلبة من التجارب ليقترح بديلا. إلا أنه افترض أنه يمكن أن يوجد أكثر من أربعة عناصر، بل حتى ربما أكثر من خمسة. وقد يكون من المثير له أن يعرف أننا اليوم نملك 109 منها، ونتطلع إلى المزيد.

وتعد إسهامات بويل في الكيمياء ـ بخلاف أعماله عن الغازات ـ جوهرية. وهي تتضمن دراسات منتظمة للتفاعلات بين الأحماض والقواعد، وبعض التطبيقات الأولى للأدلة المستخلصة من النباتات والمستخدمة للأحماض والقواعد كما نسخ عملية فصل الفوسفور. ويبدو بويل في كتابه «الكيميائي الشكاك» وكأنه يخامره الشك تجاه التحول، لكنه لم يعلن أبدا ثقته في السيمياء.

وعندما توفي ترك لنيوتن عينة من تربة حمراء كان يعتقد أنها قد تحول الزئبق إلى ذهب. إلا أن هذه النهاية المتباينة حدثت في عمر متباين أيضا. كانت مجموعة من المشتغلين بالعلم تحرس الاكتشافات الجديدة كـ «سر» من أسرار السيمياء، فيما تتصارع مجموعة أخرى حول أول من قام بإذاعة الاكتشافات الجديدة. كان أحد الأعضاء الرئيسيين في المجموعة الأخيرة هو مساعد بويل الأسبق: روبرت هوك.

روبرت هوك

كان روبرت هوك بكل المقاييس ذا طبيعة مريضة، لكنه تعايش مع هذا

الإزعاج الحقيقي والخيالي، حتى أنه لا يمكن أن يكون غير ذلك. كان أبوه قسيسا. وقد ولد روبرت هوك بهيكل عظمي معتل، مما منحه مظهرا ملتويا وصحة عليلة، ولم يكن من المتوقع أن ينجو من طفولته. لكنه نجا، وظل طوال حياته يشكو من الصداع وانحراف الصحة والمزاج، الأمر الذي شكل الظروف التي جعلته يعاني من وسواس المرض.

حاولت أسرته أن تمنحه تعليما كقسيس، لكنه لم يكن مجتهدا في هذا المجال. غير أنه عندما رأى ساعة حائط مفككة قام بصنع واحدة من الخشب، ثم شرع في صناعة ألعاب ميكانيكية خاصة به. وعندما توفي والده، أعطته الأسرة مائة جنيه، وأرسلته إلى لندن ليتدرب على فن الرسم، إيمانا منها بأنه يملك بعض الموهبة في هذا الفن. ولدى وصوله إلى لندن، تملص من التدريب، واستولى على النقود لنفسه، وتمكن بطريقة أو بأخرى من الالتحاق بمدرسة ويست مينستر. ودرس هوك اللاتينية والإغريقية والرياضيات قارئا ـ بناء على كلامه ـ أول ستة كتب لإقليدس في أسبوع.

وبهذه الخلفية تمكن هوك من الالتحاق بعمل كمساعد طبيب. وفيما يبدو كان له قيمة في هذا العمل، حتى أن أحد الأطباء رشحه لبويل في أكسفورد. غير أنه في هذا الوقت، ومع سقوط كرومويل وعودة أسرة ستيوارت، فُصل الكثيرون من دائرة الكلية الخفية من الطلاب والمعلمين، بناء على ميولهم السياسية. انتقل قليل منهم إلى لندن حيث اعترفوا بالملكية، وفي غضون سنتين ناصروا الملك وأصبحوا الجمعية الملكية.

استمرت الجمعية الملكية مهمة في تاريخ الكيمياء كمنتدى للنقاش ووسيلة للنشر. وما زالت مهمة جدا، وتعد عضوية هذه المنظمة، والتي تتم بالانتخاب، أعلى ترفيع علمي في إنجلترا. وأُسست مجلة الوقائع الفلسفية، أقدم مجلة علمية مازالت تصدر حتى الآن، العام 1665، لتكون لسان حال الجمعية الملكية. ويكمن جزء من النجاح الأول للجمعية في حقيقة اختيار هوك مسؤولا عن التجارب.

بدأ هوك ارتقاء سلم مستقبله مستقلا بالكثير من الإنجازات الصاعقة والمتنوعة في الجو الفكري المخلخل لـ «لندن». وقد أعلن العلاقة المعروفة باسم «قانون هوك»، والتي تنص على أن الاستطالة في الأجسام المرنة، مثل الزنبرك، تتناسب مع القوة المسببة لها. واستخدم هذا القانون فيما بعد

لوصف حركة الأنوية في الجزيئات. وقد استعمل هوك تليسكوبا لإجراء العديد من الملاحظات الفلكية المتميزة، كما استخدم ميكروسكوبا لوصف رقائق الثلج والخلايا (كان أول من استخدم هذه الكلمة) والحفريات الميكروسكوبية. وقد ضَمَّن هوك التنبؤ بالطقس باستخدام البارومتر، لكنه عاد فيما بعد ليشكك في فاعلية هذه الطريقة، متحيرا بلا شك من المتغيرات التي ما زال يتصارع معها خبراء الطقس حتى اليوم.

وبتعيينه مساحا للندن بعد الحريق الكبير، جمع هوك مبلغا كبيرا من المال. وبذلك، وبمنصبه المحترم، كان لابد لهوك أن يكون رجلا راضيا. لكننا نرى في مذكراته رجلا وحيدا غارقا في آلامه. لم يتزوج قط لكن كانت له العديد من العشيقات، كانت بعضهن تستغله ماليا. أصبحت صحته المعتلة تقاسي من التهابات الجوف المؤلمة والمزمنة والمصاحبة للصداع والغثيان والدوار والأرق وعسر الهضم (قد تكون الديدان هي السبب) والكوابيس الليلية. وقد عالج هوك هذه الانحرافات الصحية من آن لآخر بتعاطي جرعات كبيرة من الكحول. وعندما كانت تمر ليلة نادرة في سلام وهدوء، كان يسجل ذلك في يومياته «نمت جيدا، الحمد للّه»[9].

كان هوك متورطا بشكل مزمن في العديد من المجادلات التي كان يشعر في أثنائها أن أفكاره تغتصب دون أن ينسب له الفضل الواجب. وكأي شيء من هذا القبيل، كان هناك بعض الأساس المحتمل لهذا الشعور. وقد ورد أن نيوتن رفض تعضيد مساهمات هوك في دراسة الضوء، وأجل نشر أعماله «الضوء»، لعقدين من الزمان بعد وفاة هوك[10]، كل ذلك بسبب خلافات بينهما. وعندما توفيت حبه الحقيقي الوحيد، جريس ـ وهي ابنة أخيه وراعيته وعشيقته في النهاية ـ ازداد هوك تنسكا، وأصبح ساخرا. ولابد أن أمراضه ومعاناته قد زادت لأنه قيل إنه لم يخلع ملابسه ولم يذهب إلى فراشه آخر سنتين من عمره. لكن على الرغم من عيوب شخصيته، لابد أن نشير إلى أنه عندما توفي عن 68 عاما شارك في تشييع جنازته كل أعضاء الجمعية الملكية قاطبة، وقد بكوه حتى مثواه الأخير.

شارك هوك بصورة أساسية في تقدم الكيمياء. فبالإضافة لعمله مع بويل، أشار إلى بعض اتجاهات في التفاعلات الكيميائية في المستقبل. وقد صاغ نظرية عن الاحتراق في كتابه ميكروجرافيا، الذي يصف فيه

مشاهداته بالميكروسكوب. يقول هوك في هذه النظرية إن عامل الاحتراق هو مادة مشتركة مع كل من نترات البوتاسيوم والهواء. لكن كعادته مع الكثير من أفكاره، لم يقم بتتبع الفكرة إلى أبعد من ذلك (وهي العادة التي قد تكون سببا في شعوره بأن الآخرين قد اغتصبوا أفكاره) تاركا المجال للشخص التالي في حديثنا: جون مايوف.

مسألة الاحتراق

ربما نكون قد توقعنا أن تثير مشاهدات بويل حول الخواص الفيزيائية للغاز فورة في النشاط التجريبي في هذا الاتجاه، لكن العكس قد حدث. فقد بدا أن نتائج بويل تبين أن كل الغازات لها سلوك متشابه، وذلك فلا داعي ـ كما يبدو ـ للمزيد من الأبحاث. غير أن بويل نفسه قد تيقن أن هناك الكثير الذي لم يكتشف، كما قال في أواخر السبعينيات من القرن السابع عشر في «شكوك حول الحقائق الخافية للهواء»، لكن الباحثين الآخرين قد وجدوا أن أكثر الأمور إثارة هو ملاحظة بويل حول دور الهواء في الاحتراق.

ولسعادة الأطفال، وتعاسة مندوبي التأمين، فإن الاحتراق ـ هذه الكلمة العادية المبتذلة ـ ما زال واحدا من أكثر التفاعلات الكيميائية روعة وإثارة. كان أرسطو يعتقد أن النار عنصر من العناصر الأربعة التي تتكون منها المادة، وقد فسر الاحتراق بأنه إطلاق هذا العنصر من المادة. وقال باراسيلسوس إن كل ما يشتعل يحتوي على الكبريت، لذلك كان يعتبر أن هذه المادة عنصر ومكون من مكونات الأشياء المركبة. كان السيميائيون ينظرون إلى وظيفة الهواء في الحفاظ على الاحتراق كأمر ميكانيكي غامض: طريقة تنتقل بها الحرارة والنار. بدت كل هذه التخمينات معقولة بما فيه الكفاية، ومن الممكن تصورها دون إفراط في الخيال. والمشكلة الوحيدة كانت التكرار المنتظم المثير الذي كان يعلن به الحدادون المشتغلون بالقصدير وبالرصاص أن المواد التي يشتغلون بها كانت تزداد في الوزن بالتسخين، الأمر الذي لم يكن ليحدث لو كان عنصر النار يغادر المادة.

لم تسبب هذه الملحوظة مشاكل عويصة لنظرية العناصر الأربعة مباشرة. والسبب الوحيد هو أن مغزى الزيادة أو النقص في الوزن في أثناء العمليات

الكيميائية لم يكن يحظى باهتمام مركزي في تفكير الكيميائيين حتى أواخر القرن التالي، مع أن هيلمونت وأنجيلوس سالا كانا قد أشارا إليه، وعندما لُوحظ اكتساب الفلزات لوزن زائد إذا سخنت لدرجات حرارة مرتفعة في الهواء (العملية التي تسمى تكلُّس Calcination)، تخيل البعض ـ كما فعل كاردانوس في منتصف القرن السادس عشر ـ أن عنصر النار يعمل ضد الجاذبية بشكل أو بآخر، وأنه يجعل الفلز يطفو عندما يكون جزءا منه. أما الآخرون مثل بويل، فقد نسبوا الزيادة في الوزن إلى امتصاص جزء من الحرارة أو الضوء أو اللهب. لكن القليلين مثل جون مايوف، والمدعو «جين ري» قد وجدوا تفسيرا وجيها، وهو التفسير الذي كسب في النهاية.

جون مايوف

ولد جون مايوف لأسرة عريقة ومحترمة. وبالرغم من كونه طبيبا ممارسا إلا أنه كرس الكثير من وقته الشخصي للبحث العلمي، وكان واحدا من المقربين إلى مجموعة أكسفورد، وأصبح أخيرا زميلا للجمعية الملكية. وفي سياق عمله طور مايوف أمرين مهمين في تقنية التعامل مع الغازات: فقد بين أن الغاز يمكن أن ينقل من وعاء إلى آخر تحت الماء، وأن حجوم الغازات يمكن مقارنتها مباشرة إذا كانت تحت الضغط نفسه. وقد توصل إلى معادلة الضغط بمساواة مستوى سطح الماء داخل وخارج الوعاء المحتوي على الغاز بواسطة سيفون. قام مايوف كذلك بعمل مثير وثمين ـ كما يقول البعض ـ حول نظرية الاحتراق.

وقد لخص بويل مستوى فهم هذا التفاعل المهم في أبحاثه. فقد كان يعرف أن الهواء يدخل في عملية الاحتراق، لأنه وجد أنه إذا وضع مادة قابلة للاشتعال فوق لوح مسخن لدرجة الاحمرار في الفراغ لا يحدث أي شيء. أما إذا أدخل الهواء، فإن المادة كانت تلتهب مشتعلة. حَسَّن مايوف هذه المشاهدات بإجراء سلسلة من التجارب التي أثبت بها أن جزءا من الهواء فقط يستخدم في الاحتراق وفي التنفس. نكس وعاء زجاجيا فوق شمعة أو فوق حيوان جاثم على قاعدة في حوض به ماء، وساوى بين مستوى الماء داخل وخارج الوعاء الزجاجي بواسطة سيفون، ثم أخذ يلاحظ ارتفاع مستوى الماء داخل الوعاء مع استمرار اشتعال الشمعة أو تنفس

الحيوان القارض. ولأن جزءا من الهواء كان يتبقى عندما تنطفئ الشمعة أو يموت الحيوان، فقد عرف أن هذا النوع الثاني من الهواء لا يساعد على الاحتراق أو التنفس. أطلق على الجزء الأول من الهواء، الذي كان يساعد على الاحتراق، نترو - إيريال (النيترو الهوائي). حقق مايوف وثبة بخياله عندما استنتج أن الوزن المكتسب بواسطة الفلزات في أثناء الكلسنة كان يرجع إلى امتصاص جسيمات النترو - إيريال.

كان مايوف قريبا - بشكل مغر - من أن يسبق نظرية الأكسجين لـ «لافوازيه» بمائة عام. لكن، وقبل أن نتعمق في فطنته، علينا أن نذكر أنه أقحم نتائجه عن النيترو - إيريال في كل صغيرة وكبيرة على طريقة السيميائيين القديمة: فأشعة الشمس كانت جسيمات من النيترو - إيريال، والحديد يحتوي على جسيمات النيترو إيريال لأنه كان يعطي شرارا عند طرقه. ولم يكن مايوف الوحيد الذي وصل إلى هذه الفكرة، فقد مر عبر الفكرة، لكن بصورة غير متطورة، طبيب فرنسي فسر اكتساب الرصاص لوزن زائد بالتسخين بقوله:

[الوزن] يأتي من الهواء، الذي... يختلط مع الكالكس... ويصبح مرتبطا بأدق جسيماته...(11).

غير أنه لم يقم إلا بتجارب محدودة. وقد ذكر (في وثبة من الحدس سبقت قانون النسب الثابتة) أن الزيادة في الوزن لا تتعدى كمية معينة:

«لقد وضعت الطبيعة، لحكمة غامضة، حدودا لا تتخطاها أبدا» (12).

ولسوء الحظ كان مايوف متحيرا من قانون آخر من قوانين الطبيعة: لا يعترف الناس بأي جديد حتى يحين أوانه.

بيد أنه لا يمكن إلقاء اللوم كله على التوقيت في تأخر ظهور نظرية دقيقة للاحتراق. فبعض الفضل في ذلك يرجع إلى نظرية أخرى منافسة أخذت تظهر وتتطور في الوقت نفسه. كان لهذه النظرية منطقها بالإضافة إلى اسمها الجذاب «فلوجستين». ومن المفترض أن الفلوجستين مادة تغادر الشيء الذي يحترق. ومع أنها كانت إعادة صياغة لعنصر النار في نظرية أرسطو، إلا أنها كانت مدعمة بالتجريب المنهج. ومع أنه ثبت عدم صحة هذه النظرية - حتى أن البعض يقول إنها كانت حجر عثرة في تطور الكيمياء - إلا أن الجدل الذي أثارته كان في النهاية هو الأساس لعصر جديد في الكيمياء. تبدأ القصة بمقاول صاحب مشروعات وانتهازي (كما يقول البعض)

جون يواكيم بيتشر.

جون يواكيم بيتشر

كان جون يواكيم مؤلف كتاب «الحكمة الحمقاء والحمق الحكيم»، (حيث وصف فيه الحجر الذي يحول الناس إلى صورة غير مرئية، والإناء الذي يمكن أن يحتفظ بداخله بالكلمات)، ومخترع ـ بناء على طلب آخرين ـ لغة عالمية لم يتقاض عنها أجرا، كان في معظم أحواله يمثل رجعة تامة إلى العصور الوسطي الأوروبية ـ لكنه كان بشكل آخر البشير لعصر جديد. حاول بكل السبل الوصول إلى العناصر الأساسية التي تتكون منها كل المواد، وذلك بقدح الذهن فقط مثل القدماء، ودون استخدام التجريب. وبنكهة الأفكار السابقة أكثر من ظهور أمر جديد توصل إلى الهواء والماء، وثلاثة عناصر أرضية هي: القابل للانصهار والدهني والمائع. وقد تصور بعد ذلك أن عملية الاحتراق هي فقد العنصر الأرضي الدهني، والذي أصبح معروفا فيما بعد باسم الفلوجستين. وقد تخيل عملية الكلسنة بالشكل نفسه: «تحتوي الفلزات على أساس قابل للاحتراق يغادر الفلز إلى الهواء تحت تأثير اللهب، ويترك كلس الفلز» [13]. كان يعرف أن الفلزات تكتسب وزنا في أثناء هذه العملية. لكنه، وربما في أول محاولة من سلسة طويلة من المحاولات لإخضاع نظرية الفلوجستين للمنطق، كان يفسر ذلك أحيانا بدخول جسيمات اللهب ذات الوزن المحسوس في الفلز، وأحيانا أخرى بمقدرة الفلوجستين على أن يخفف من وزن الفلز (مقدرته على رفع الأشياء) «إذا طرحت من الشيء شيئا آخر وزنه أصغر من لا شيء، فإن الوزن يزداد»[14].

لم تتطور هذه الأفكار التي عرضها بيتشر على يديه هو ـ ولا حتى خلال القرن السابع عشر ـ بل تطورت أكثر إبان القرن الثامن عشر بواسطة موضوع حديثنا القادم وهو جورج إرنست ستال.

وفي الحقيقة فإن مكان ستال بحساب الزمن هو الفصل القادم، لكن لأنه كان يضع قدما في هذا العصر والأخرى في العصر القادم، فإنه جاء بنتائج مثالية لهذا العصر الملتبس.

جورج إرنست ستال

ولد جورج ستال، الطبيب الألماني ومعلم الكيمياء والطب، في أواخر

النصف الثاني من القرن. قام ستال بالدعاية لنظرية بيتشر عن العنصر الأرضي الدهني الذي يغادر المواد المشتعلة، وسماه الفلوجستين، ناسبا كل الفضل لبيتشر. وقد دعم ستال النظرية على أساس تجريبي، متخطيا بذلك بيتشر نفسه. كان يفكر بالشكل الآتي: يشتعل الكبريت بلهب وينتج حمض الكبريتيك، لذلك فإن الكبريت يتكون من حمض الكبريتيك والفلوجستين، فإذا أعيد الفلوجستين إلى حمض الكبريتيك مرة ثانية، فإننا سنسترجع الكبريت، ولأن الفحم يختزل أكاسيد الفلزات، وعندما يشتعل لا يترك إلا رمادا قليلا، فإن الفحم غني جدا بالفلوجستين، لذلك فإن الفحم عندما يسخن مع حمض الكبريتيك، لابد أن يعيد الفلوجستين وينتج الكبريت الأصلي.

وفي الواقع، عندما «ثبت» ستال حمض الكبريتيك (بأن جعله جامدا بتفاعله مع هيدروكسيد البوتاسيوم)، ثم سخنه مع الفحم، حصل على «كبد الكبريت» (عديد كبريتيد البوتاسيوم). وهي الكتلة الداكنة غير المتبلرة نفسها التي نحصل عليها بصهر الكبريت النقي مع هيدروكسيد البوتاسيوم. لذا، فقد استنتج أنه استرجع الكبريت ثانية، مما جعل نظرية الفلوجستين تنجح.

كانت تفسيرات ستال المبنية على التجارب ـ والتي عبر عنها بشكل بسيط جذاب ـ مغرية لدرجة أن نظرية الفلوجستين ظلت قائمة حوالى 70 عاما. وأمكن تفسير مشاهدات كثيرة بالفلوجستين: تتغير الفلزات عند تسخينها في الهواء لأنها تفقد الفلوجستين. وعندما يسخن الكلس الناتج (الأكسيد) مع الفحم، فإنها تتغير ثانية إلى الفلز، لأنها تكتسب الفلوجستين من الفحم. ولا يمكن للاحتراق أن يحدث في الفراغ لأن الهواء كان مطلوبا لامتصاص الفلوجستين ميكانيكيا. يتوقف الاحتراق في وعاء مغلق بإحكام، لأن الهواء يصبح مشبعا بالفلوجستين.

ظلت العقبة الأولية قائمة: تفقد أكاسيد الفلزات جزءا من وزنها عندما تختزل إلى فلزات، وكانت هذه هي نقطة الضعف التي أدت في النهاية إلى سقوط النظرية. لكن المعلومات التي اكتُسبت في أثناء الجهود المبذولة لإثبات صحة النظرية أو عدم صحتها، كانت هي قاعدة البيانات بالنسبة للنظرية التالية، وهي النظرية التي صمدت بعد ذلك.

وهكذا، بالرغم من أن أوروبا في القرن السابع عشر كانت تملك كلا من مظاهر العصور الوسطى والمظاهر الحديثة، فإن التقدم في الكيمياء كان جاريا. وحتى ندرك هذا التقدم، علينا فقط أن نقارن بين نظرية الفلوجستين القائمة على أساس تجريبي مع نظريات باراسيلسوس - مثلا- القائمة على الحدس والتخمين. كان الإيمان بالطرق التجريبية، والذي توج بنجاح الثورة العلمية، قد وصل إلى قمته في فلسفة جديدة: التنوير. كانت روح التنوير هي رفض التقاليد أملا في التقدم وتحسين ظروف الإنسان، وكان ذلك على المستوى السياسي يعني الحرية الشخصية والمساواة. أما علميا، فقد كان ذلك يعني التطبيق الحاسم للطرق العلمية. وكيميائيا، فإنه يعنى ضرورة رحيل أرسطو. غير أن المعضلة كانت مع ذلك هي إيجاد البديل.

7 حوالى سنة ١٧٠٠
البحث عن النظام وعن الفلوجستين

- الطاقة المستنيرون
- الاستنارة والعلم
- الفلوجستين
- التكلس والاحتراق
- كيميائيو الهواء المضغوط

سار كل الكيميائيين في القرن الثامن عشر في سياق عصرهم: تقدما واستنارة ونظاما. لكن للأسف، كانت محاولتهم الأولى نحو نظام «الفلوجستين» خاطئة، غير أنها ساهمت بشكل معكوس: فمن خلال المعارك التي أثارها الفلوجستين كان لابد للنظام الصحيح أن يُكتَشَف.

العالم حوالى العام 1700

على الرغم من أن القرن الثامن عشر قد انتهى بشكل مغاير، إلا أنه في بدايته وجد العالم نفسه في ظروف غير عادية: فترة من السلام المريح. فرضت الإمبراطورية العثمانية السلم على الشرق الأدنى وشمال أفريقيا. أما في وسط أفريقيا، فقد قامت ثغور كثيرة لتجارة العبيد على طول الساحل، أما في الداخل فقد ظلت القارة بعيدة عن متناول المغامرين. وكان مواطنو العالم الجديد يناضلون ضد الغزو الأوروبي، ولم يكن الغزاة الأوروبيون

أنفسهم قد انقلبوا بعضهم على بعض بعد.

وبحلول القرن الثامن عشر، طردت اليابان الأوروبيين (ماعدا قليلا منهم الذين أبدوا رغبة في سبِّ الصليب ووعدوا بعدم ممارسة التبشير)، ونعمت اليابان بالسلام الأعظم في عصر «طوكوجاوا». وعندما حاول البريطانيون تعديل الميزان التجاري مع الصين، وذلك ببيع الأفيون الهندي للصين، فإن الزعماء الصينيين قرروا أن الأوروبيين يعملون تجارا للمخدرات بجانب أنهم متدنون حضارياً، لذلك أقام الصينيون الأسوار المادية والفكرية وقبعوا خلفها في سلام مؤقت. أما الهند، فقد وجدت نفسها في القرن الثامن عشر فريسة لعصر مظلم من الديانات الجبرية، مثل الأوروبيين قبل بضعة قرون. ولم تكن تعني التغيرات السياسية أي شيء للهندي متوسط الحال. وبهذه اللامبالاة، حلَّ نوع من السلام.

كان النظام الإقطاعي في أوروبا بمجالس اللوردات ومناقشات المائدة المستديرة كافيا لإدارة حروب الفرسان برماحهم. لكن عندما واجهتهم المدفعية والجيوش الكبرى المحترفة ظهرت الحاجة جلية إلى نظام أكثر التزاما ومسؤولية. جاء الحل، وكان يشمل مؤقتا تركيزه قوة الدولة في ملكيات قومية مطلقة، ومع أن الزخم الأولي للملكيات المطلقة كان شحذ المقدرة على شن الحرب بصورة أكفأ، إلا أن نتائجها الحقيقية، على الأقل في بداية القرن الثامن عشر، كانت التباعد في تحفظ بين القوى وحلول فترة من السلام النسبي.

وبذلك، وعلى الرغم من فوضى الحروب الدينية في القرن السادس عشر، وتعمية وغموض القرن السابع عشر، إلا أن القرن الثامن عشر بزغ باتجاه واضح: رفض التقاليد وولع تجاه التقدم. وجدت هذه الاستنارة (كما كانت تسمى) تعضيدا فضوليا من الملكيات المطلقة: أصبحت محصلة فلسفة الحكم تعرف باسم الاستبداد المستنير. قام الطاغية المستبد بتخفيف المستنقعات وشق الطرق وسن القوانين وإخضاع المناطق لسلطته وحَجَّم الكنيسة واجترأ عليها وأدار كل شيء بواسطة البيروقراطية المحترفة. رفعت مركزية السلطة الجديدة من كفاءة التجارة والحرب على حدٍّ سواء، وتحسَّن مستوى المعيشة بالنسبة للكثيرين. انتقل الولاء الشخصي من القرية إلى الأمة، وقد عبرت الاتجاهات القومية الجديدة عن نفسها عن طريق

المنافسات القومية في الأوقات الطيبة. أما في الأوقات السيئة فقد كانت هذه المنافسات تنقلب إلى حروب. ولأن هذه المنافسات والحروب القومية كانت تملي منهج وتاريخ الكيمياء، فإنه يجدر بنا عند هذه النقطة أن نتوقف قليلا لنلقي نظرة على بعض اللاعبين وهم يتخذون مواقعهم على المسرح.

الطغاة المستنيرون

إنجلترا

خرجت إنجلترا (أو المملكة المتحدة بعد اتحاد إنجلترا واسكتلندا في العام 1707) من حرب أهلية، كومنولث متزمت، واستعادت ملكيتها، لكن سلطة الملك قد حُجِّمت وأصبح البرلمان هو المتحكم في الجيش. وامتلكت الأمة إعلانا للحقوق يضمن الحق في كتابة العرائض والتقدم للقضاء والنهوض بالجيش وحق المناقشة. كذلك صدر تشريع للتسامح يضمن حرية العقائد (ما عدا الكاثوليك واليهود والموحدين). وقد ظلت معزولة عن القارة بواسطة قنالها المائي لحسن حظها، ولم يكن لها اهتمام كبير بمشاكل القارة السياسية.

إسبانيا

في بداية القرن الثامن عشر، كانت إسبانيا واحدة من الأراضي الوراثية للعائلة المالكة: كان ملكها عاجزا جنسيا ومعتوها، فقد ولد من تزاوج الأقارب في أسرة هابسبرج. وعندما توفي هذا الملك في العام 1700 تصارع على العرش كل من ملك فرنسا والإمبراطور الروماني المقدس (كان كل منهما قد تزوج من إحدى أخوات ملك إسبانيا). لكن الحرب الحتمية بينهما اتخذت منحى جديداً. لم ترغب أي بلد من البلدان غير المتنافسة على عرش إسبانيا أن ينتصر أي طرف من المتنافسين، لأن ضم إسبانيا سيعني أن يصبح المنتصر أقوى من المطلوب بكثير. وحتى لا يتحقق ذلك، فقد اعتمدت تكتيكا جديدا، أسموه توازن القوى. وفي ضوء أحكام هذا التوازن تشكلت أحلاف القبول والمصالح وانفصمت أخرى ثم عادت لتلتئم من جديد إلى أن انتهت الحرب بالتوفيق بين الأطراف. فقدت إسبانيا بعض أملاكها الأوروبية لكنها استعادت بعض أملاكها في أمريكا. كذلك كسبت ملكا فرنسيا، بمعنى أن الملك نفسه لا يمكن أن يجلس على عرش فرنسا وإسبانيا

في آن واحد. حكمت أسرة بوربون حتى الثورة الجمهورية في العقد الأخير من القرن الثامن عشر دون منازع ما عدا بعض الاضطرابات التي تخللت حكمها.

بروسيا

نجح فريدريك ويليام وهو في العشرين من عمره على رأس أسرة بريندنبرج كملك على ما تبقى من بروسيا بعد دمار حرب الثلاثين عاماً. وقد أسس بعناية مجتمعا عسكريا بما تبقى لديه من المواطنين الذين أباد معظمهم الطاعون والمجاعات والقتل على أيدي الجيوش الغازية. وقد ركز على تثقيف وصقل جيوشه، وكان لا يظهر دائما إلا في زيه العسكري. وفي الحقيقة، فقد حكم بلده كما لو كانت جيشا كبيرا معودا المواطنين على النظام بعصاته كما لو كانوا قوات عسكرية.

نمت برلين في عهده لتصبح مدينة ذات مائة ألف مواطن، كان واحد من كل خمسة منهم جنديا. وبحلول العام 1740، وتحت حكم ابنه فريديك الأكبر، أصبحت بروسيا قوة عظمى. غير أن ابن فريديك الأكبر كان مختلفا عن والده. كان يهوى العزف على الفلوت وقراءة الشعر الفرنسي وكتابة النثر والمقاطع الشعرية. وفي سن الثامنة عشرة حاول التملص من العرش الذي ينتظره ومن والده العسكري. وقد قبض عليه وأعيد ليجبر على مشاهدة عملية إعدام صديقه الذي عاونه على الهرب. ومع أنه أصبح أخيرا قائدا محنكا، لكنه ظل حر التفكير مثل الكثرين في عصره رافضا لفكرة الدين والحق الإلهي للملوك. وكما كتب إلى فولتير: «إن شغلي الشاغل هو محاربة الجهل والإجحاف في هذا البلد... ولابد أن أنير شعبي وأهذب سلوكه وأخلاقه وأجعله سعيدا السعادة التي يستطيع أن يحصل عليها الإنسان»[1].

النمسا

وتبعا لفولتير، فإنه بحلول القرن الثامن عشر، لم تعد الإمبراطورية الرومانية المقدسة إمبراطورية ولا رومانية ولا مقدسة. لكن الأسرة النمساوية هابسبرج تمكنت من الخروج من الأنقاض لتبني إمبراطوريتها الخاصة. وفي العام1740، أصبحت النمسا إمبراطورية آهلة بالسكان، ذات قوة عسكرية عظمى. إلا أنه عندما آل العرش إلى ماريا تيريزا ذات الثلاثة والعشرين ربيعا، تعرضت الإمبراطورية وقائدتها لامتحان.

كان أول الغزاة هو فريدرك الثاني ملك بروسيا الذي قام بالغزو عندما كانت ماريا تيريزا حاملا في طفلها الأول. وبعيدا عن الاشتباك، فإنها استغلت ميلاد طفلها لتجمع التعضيد. ومع أنها خسرت بعض المناطق، إلا أن الإمبراطورية ظلت قائمة وأنجبت ماريا تيريزا تسعة آخرين من الأطفال، سنلتقي بأحدهم مرة ثانية، وهي ماري أنطوانيت ملكة فرنسا. أما ابنها جوزيف، فقد اعتنق التنوير، لكنه للأسف فعل ذلك في عجالة، فقد ألغى العبودية، وأمر بالتسامح تجاه كل الأديان حتى أنه جعل اليهود مسؤولين عن الخدمة العسكرية لأول مرة في أوروبا. وعارضته الكنيسة الكاثوليكية، كما قامت بعض قطاعات المواطنين باضطرابات. وعندما تولى أخوه ليوبولد من بعده، كان أمامه أن يعيد الكثير إلى نصابه في النمسا حتى يتمكن من معاونة أخته في فرنسا.

روسيا

كان زعيم روسيا في مطلع القرن الثامن عشر، بطرس الأكبر، يرى أن التنوير هو التغريب (الاتجاه للغرب ومحاكاته)، وقد بنى مدينة سانت بطرسبرج وأكاديمية العلوم من هذا المنطلق. وفرض الملابس الأوروبية واستعمال التبغ إجباريا على رجال البلاط. وقد خلفته زوجته كاترين الأولى بعد وفاته لأنه كان قد حكم بالإعدام على ابنه عندما أعلن الأخير أنه ينوي العودة إلى الأيام الخوالي (ضد الإصلاحات). حكمت كاترين الأولى لمدة عامين فقط ثم تلتها سلسلة من القياصرة والقيصرات حتى جاءت كاترين أخرى ـ كاترين العظمى ـ التي عزلت زوجها فاقد العقل وتولت الحكم خلال النصف الثاني من القرن الثامن عشر. اتخذت هذه المرأة ـ الألمانية الأصل القاسية، وصاحبة العشاق الكثيرين ـ خطوات لإصدار القوانين الروسية وتحريم التعذيب وإعادة تشكيل الحكومة. لكنها ردت بيد من حديد على ثورة العبيد التي قامت 1773. سُحِل قادة الثورة وقُطِّعوا إربا، ومنحت صلاحيات أوسع للنبلاء، حتى أن نظام القنانة الروسي أصبح في حكم نظام الرق. وقد قالت لأحد الموسوعيين من أبناء ذلك العصر، عندما دار الحديث حول الإصلاحات: «إنك تكتب على الورق فقط، أما أنا فعليَّ أن أكتب على جلود البشر، الأمر الأكثر حساسية وإثارة للانفعال إذا ما قورن بكتابتك»[2].

فرنسا

كانت فرنسا القرن الثامن عشر بلدا غنيا، به من السكان ثلاثة أضعاف سكان إنجلترا، وضعف سكان إسبانيا، وبه حكومة تعد رمزا للملكية المستبدة. ورث لويس الرابع عشر العرش وهو في سن الخامسة، وحكم حتى وافته المنية في سن 77. وكان يستطيع أن يقول بحق «أنا الدولة». وقد حول لويس الرابع عشر الحرب إلى شأن من شؤون الدولة. وقد نقَّح النظام العسكري بحيث أصبح الجنود يحاربون من أجله هو لا من أجل القادة المحليين. ضم المدفعية إلى الجيش، وقنن الرتب في الجيش وجعلها في تسلسل رئاسي، ثم وضع نفسه على القمة.

لكن لويس الخامس عشر، الابن الذي ورث العرش، ورث مشكلتين: تكاليف عسكرية باهظة، ونظاما غير كفء لجمع الضرائب. لم يكن أي من المشكلتين تعجيزية، لكن لويس الخامس عشر لم يكن يملك أي رغبة في العمل على حلهما، الأمر الذي يؤكد نقطة ضعف أخرى في نظام الأسر الحاكمة المطلقة: إذا اختار الزعيم ألا يعبأ بالأمور، فإن القليل فقط هو الممكن. القليل الذي يتبقى للثورة، وهو ما حدث فعلا. لكن قبل أن نقوم بوصف سيادة العنف في الفترة التالية، لنلق نظرة على إنجازات هذه الفترة بشأن السلام.

الاستنارة والعلم

النهج المستنير بالنسبة للعلم يعني رفض الصوفية من أجل الوضوح والمنطق الديكارتي. فقد جعل نيوتن وديكارت الأمر يبدو وكأن كل الأنظمة في العالم الطبيعي يمكن في النهاية وصفها بواسطة معادلات رياضية. وأثمر هذا المنطق في علوم مثل الفيزياء نتائج مرضية: فجاذبية نيوتن وقوانينه عن الحركة استطاعت تفسير سلوك الأشياء على الأرض. أما قوانين كبلر، فقد فسرت سلوك الكواكب. وحتى هذه اللحظة كان الفيزيائيون يتعاملون مع العالم المرئي ـ عالم يرونه ويستطيعون التعامل معه. ولم يكن الكيميائيون يملكون هذا الترف. كان مقياس عالمهم هو الذرة، وكان لابد من الاستدلال على نشاط الذرات. لذلك فإن الكيميائيين في بداية القرن الثامن عشر لم يكن لديهم من الأدوات ما يمكنهم من اختصار أنظمتهم في

شكل نماذج رياضية، لكن كانت عندهم الرغبة في ذلك.

الفلوجستين

أعاد القرن السادس عشر توجيه الكيمياء لغرض ما (التحول من الاهتمام بالذهب إلى الاهتمام بالطب)، لكن النظرية الأساسية في السيمياء ظلت كما هي. كانت المواد مصنوعة من خليط من عدد معين صغير من العناصر: الهواء والأرض والماء والنار تبعا لأرسطو، وقد عُدِّلت ـ في حالة الأرض والفلزات ـ لتتضمن الزئبق والكبريت (الفكرة العربية)، والزئبق والكبريت والملح (فكرة باراسيلسوس)، أو المنصهر والدهني والمائع (فكرة بيتشر). كانت الكيمياء هي محاولة التدخل في نسبة هذه العناصر في المواد غير المطلوبة لصنع مواد مرغوبة. وبحلول القرن السابع عشر جرب الكيميائيون كل التركيبات الممكنة، لكنهم وجدوا أنفسهم لا يملكون أي تحكم في الناتج النهائي. بدأ الكيميائيون يعتقدون أن فرضيات أرسطو يجب أن تسقط. لكن، وقبل أن تسقط نهائيا، مرت بعملية بعث لآخر مرة في نظرية الفلوجستين. لكن اختبار الفرضية ورفضها لم يستغرق سوى مائة عام تقريبا، بدلا من ألفي عام.

من المغري أن نحاول تفسير الفلوجستين بالمصطلحات الواضحة والدقيقة التي أصبحنا متعودين عليها الآن. لكن الكيميائيين في بداية القرن الثامن عشر لم يجدوا من الضروري أن يقوموا بذلك. فمع أنه كان هناك اتفاق بأن الفلوجستين مادة تغادر المواد التي تحترق، إلا أنه كان من الصعب تحديد خواصها بالضبط أبعد من ذلك. لم يقم أحد بوزنها، وقال البعض إنها عديمة الوزن، كان من المفترض أن لها بعض المقدرة على الاتحاد، لكن لم يقترح أحد النسب الدقيقة التي تتحد بها. وبالنسبة لبعض الكيميائيين، كانت هذه المرونة في النظام تصل إلى حد الدقة بشكل مزعج، لكن البعض الآخر كان هانئا بهذه المرونة لأنها كانت تسمح لهذا البعض بتفسير معظم الظواهر بمفهوم مصطلحات الفلوجستين. فعلى سبيل المثال، كانت هناك المسألة الملحة عن الاحتراق.

التكلس والاحتراق

يجدر بنا أن نعرض في بضعة أسطر لشرح الاحتراق والتكلس كما هما

مفهومان حاليا، لنبين كيف كان الفلوجستين يفسرهما عادة.

يتحد أكسجين الهواء بالهيدروجين والكربون في الوقود في عمليات احتراق مثالية ليعطي ثاني أكسيد الكربون (مركب من الكربون والأكسجين) والماء (مركب من الهيدروجين والأكسجين). ولا يتم الاحتراق التام في النار الحقيقية، لذا تتكون بعض النواتج الأخرى مثل السناج والدخان، مما جعل الصورة أكثر تعقيدا بالنسبة لهؤلاء الكيميائيين الأوائل. وقد فسرت نظرية الفلوجستين الاحتراق بأن قالت أن هناك شيئا ما ـ الفلوجستين بالتحديد ـ يغادر المادة التي تشتعل. ولأن الدخان واللهب يرتفعان فوق النار، فإن ذلك الاستنتاج لم يكن غير منطقي. ولا يوجد سبب يجعل الكيميائيين يعتقدون أن شيئا ما (الأكسجين) يدخل في المادة المحترقة.

وفي التكلس، يتحد أكسجين الهواء مع الفلز الساخن، ويتكون الخبو بواسطة الأكسجين المتحد بالفلز النقي، ولذلك فإن الآنية ذات القاع النحاسي تخبو في الهواء، لكن عندما تسخن هذه الآنية في أثناء عملية الطهي، فإنها تخبو بشكل أسرع نتيجة للتكلس. وكان ينظر إلى التكلس كعملية شبيهة بالاحتراق، وهي كذلك. وهنا فإن الكيميائيين كانوا يملكون الدليل على أن شيئا ما يدخل إلى المادة المتكلسة لأن وزنها كان يزداد. لكن الكيميائيين في أوائل القرن الثامن عشر لم يكونوا على دراية تماما بمغزى الوزن في التفاعلات الكيميائية، ولم يُضمِّنوا ـ بشكل روتيني ـ قياسات الأوزان كجزء من أبحاثهم، وعدا ذلك فإن الدليل البصري عندما نرى اللهب وهو يغادر النار كان طاغيا حتى أنهم شعروا بإنه من الأسهل أن يطوعوا فكرة الفلوجستين عن أن يصدقوا أعينهم. ولهذا عندما كان يُقدم الدليل، فإن الكيميائيين كانوا يقولون إن للفلوجستين وزنا سالبا، أو أنه عديم الوزن بالمرة. لكن ذلك كان محيرا، لأنه لا يوجد أي شيء آخر في خبرتهم المشتركة له هذا السلوك. تيقن الكيميائيون أن الأمر يتطلب مزيدا من المعلومات، وكما قال الكيميائي كارل ويلهلم شيلي: «لقد تيقنت بسرعة أنه من غير الممكن أن أكون فكرة عن ظاهرة النار مادمت لا أفهم الهواء»[3].

كيميائيو الهواء المضغوط

نحن نعرف الآن أن الهواء الذي نتنفسه خليط من الغازات: ثلاثة أرباعه

نيتروجين، والباقي أكسجين، مع قليل جدا من الأرجون وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء المنتشر فيه. أما في أوائل القرن الثامن عشر فقد كان الهواء يعد مادة واحدة (وهكذا كان يبدو بكل تأكيد) وعلى الرغم من أن مصطلح غاز الذي صكّه هيلمونت كان مفيدا لأنه شدد على هذا الطور المبتكر وغير المدروس للمادة. إلا أن هذا المصطلح لم يستخدم على نطاق واسع خلال القرن الثامن عشر وفي المقابل فقد كانت الغازات تسمى هواء، وكان يعتقد أنها حالات مختلفة للهواء الشائع، إلا أنها لاحقا كانت تتميز بخواصها وصفاتها. وقد أطلق على الكيميائيين الذين درسوا الهواء المختلف اسم كيميائيي الهواء المضغوط، أو «بنيوماتيك»، كما كانت تكتب وقتها.

جوزيف بلاك

ولد في فرنسا لأسرة اسكتلندية، وكان والد جوزيف بلاك تاجر نبيذ، وكانت أمه ابنة تاجر نبيذ، وكان جوزيف الابن الرابع بين أولادهما الاثني عشر. وقد تولت والدته تعليمه حتى سن 12، ثم ذهب إلى بلفاست، ومن هناك إلى جامعة جلاسجو. ولما كان عليه أن يختار مهنة (ولم تكن الكيمياء اختيارا مطروحا بعد)، فقد اختار بلاك الطب. لكنه كان يستمتع بالكيمياء كثيرا في أثناء دراسته. وقد عمل مساعدا لمعلم الكيمياء وليم كولن لمدة 3 سنوات.

اختار بلاك لرسالته للحصول على الدكتوراه في الطب، أن يبحث عن مذيب لحصوات الكلى والمرارة حتى يمكن إزالتها من دون جراحة (دراسة تستحق الثناء في أيام ما قبل التخدير). فكر بلاك في البداية أن يدرس محلول الجير الحي (أكسيد الكالسيوم) لأنه كان يعرف أنه سيذيب الحصى، لكنه كان، لسوء الحظ، سيتلف الأنسجة كذلك، لهذا، ولأنه لم يكن واضحا أبدا أن الجير الحي هو المركب نفسه مهما تعددت مصادره (فضل أحد أساتذة بلاك الجير الحي المصنوع من القواقع، بينما فضل أستاذ آخر المادة المصنوعة من الحجر الجيري)، فقد اختار بلاك أن يتجنب الجدل ويدرس ألبا الماغنيسيا (كربونات الماغنسيوم) بدلا من ذلك. وعلى الرغم من أن بلاك سرعان ما اكتشف أن مركب ألبا الماغنيسيا لا يذيب حصى الكلى، إلا أن الصفات الأخرى له قد أثارته: مثل تأثيره الفعال كملين، لذا

فقد استمر في دراسته، وقد جاءت خبرته عن طبيعة الهواء من هذه الدراسة.

في البداية اكتشف بلاك أن ألبا الماغنيسيا كانت تعطي فقاقيع عندما تعالج بالحمض، الأمر الذي كانت تفعله مواد أخرى يطلق عليها القلويات المعتدلة. لم تكن هذه القلويات المعتدلة سوى أملاح الكربونات في الحقيقة، والتي نعرف اليوم أنها تعطي فقاقيع من ثاني أكسيد الكربون عندما تعالج بالأحماض. وفي أثناء تجاربه المستمرة، قام بلاك بتعريض ألبا الماغنيسيا للحرارة الشديدة، ثم عالج ما تبقى بالأحماض، فاكتشف أن المادة المتبقية كونت الأملاح نفسها مثل ألبا الماغنيسيا قبل تسخينها، لكن من دون تصاعد أي فقاقيع. وعلى هذا الأساس قرر بلاك أن الغاز الذي كان يكون الفقاقيع كان في الحقيقة جزءا من ألبا الماغنيسيا الذي تم طُرِدَ بالتسخين. كرر بلاك التسخين مع حبس الغاز فوق سطح الماء، لكنه وجد أن الغاز يُمتص في الماء، وبشجاعة أجرى سلسلة من التجارب التي استخدم فيها فرق الأوزان ليعين كمية الغاز في المادة.

قام بلاك بوزن المادة قبل التسخين وبعده، وافترض أن الفرق هو وزن الغاز المفقود. قام بوزن كميات من ألبا الماغنيسيا والحمض ثم خلطهما وقام بوزنهما بعد أن توقف تصاعد الفقاقيع تماما، وافترض أن الفرق هو وزن الغاز، وعندما درس كل هذه النتائج أثبت أن الغاز المتصاعد من ألبا الماغنيسيا هو الغاز نفسه الذي يتصاعد من القلويات المعتدلة، قام بتسخين ألبا الماغنيسيا ليطرد الغاز ثم أذاب ما تبقى في حمض. وأضاف فائضا من قلوي معتدل ليعوض الغاز المفقود بالتسخين، فحصل على وزن ألبا الماغنيسيا نفسه، إنه إثبات لقانون الحفاظ على الكتلة.

ومن المثير أنه في هذه السلسلة من التجارب، لم يحدث أي وزن للفلوجستين، وبذلك فإن بلاك استطاع أن يفسر كل التجارب السابقة دون اللجوء إلى نظرية الفلوجستين. لكن الفلوجستين ـ كالحرباء ـ لم يُستَثْن حتى في هذه الحالة. وللحقيقة، فقد قرر بلاك أن ألبا الماغنيسيا تكتسب الفلوجستين عند تسخينها، لكنها تفقد الغاز الذي يسبب الفقاقيع في الوقت نفسه.

واصل بلاك دراسته، لكنه أخذ يركز على الغاز بدلا من ألبا الماغنيسيا. وقد وجد أن الغاز الذي يدرسه يعكر ماء الجير، كما يفعل الغاز المتصاعد

من احتراق الخشب، ونحن نعرف الآن أن السبب في هذا أن كلا الغازين هو ثاني أكسيد الكربون، وأن ثاني أكسيد الكربون يكون معلقا دقيقا من كربونات الكالسيوم (أو الطباشير) في محلول أيدروكسيد الكالسيوم (ماء الجير) ثم بيَّن بلاك، بعد ذلك، أن الغاز الذي يتصاعد من التخمر يعكر ماء الجير كذلك، على نحو ما يفعل هواء الزفير. استنتج بلاك أن الاحتراق والتنفس والتخمر كلها تنتج الغاز نفسه، وأنه الفلز نفسه الذي أمكن اصطياده ـ أو تثبيته ـ في ألبا الماغنيسيا. لذا فقد أطلق ليه الهواء المثبت.

ولبيان كان يختلف الهواء المثّبت عن الهواء العادي، أوصل بلاك مخبارين بمضخة للهواء، كان أحد المخبارين مملوءا بالماء فقط بينما الآخر مملوءا بماء الجير، وعندما فرغ الهواء فوق سطح الماء في المخبارين أخذ الهواء الذائب منهما في الخروج على شكل فقاقيع، لكن ماء الجير لم يتعكر. وقد عرض بلاك تجاربه على الطيور والحيوانات الصغيرة، حيث أثبت أن الهواء المثبت، لا يشبه الهواء العادي، ولا يساعد على الحياة. وقد دفع بلاك بهذه التجارب الكيمياء التجريبية خطوتين عملاقتين للأمام: بيَّن بوضوح أن الغازات المتماثلة يمكن أن تعزل من تفاعلات عديدة مختلفة، كما بيَّن بوضوح كذلك مدى الحاجة إلى احتساب أوزان المواد الغازية في المفاعلات والنواتج في أثناء التفاعلات الكيميائية. وقد نشر بلاك هذه النتائج الخطيرة في رسالته، ثم لم ينشر إلا النزر اليسير طوال حياته بعد ذلك.

كانت أسباب عدم النشر على الأرجح شخصية ومهنية، فقد حل محل معلمه كولن، عندما انتقل كولن إلى أدنبرة، ولأن الطلاب كانوا يدفعون أجر التعلم مباشرة لبلاك، فقد كان عليه أن يعطي الكثير من المحاضرات ليحصل على دخل معقول. كذلك كانت كليته مسؤولة عن إدارة الجامعة، لذلك فقد كانت تقع على عاتقه واجبات إدارية تأخذ الكثير من الوقت. لكنه استمر في إجراء أبحاثه، وقد ملأت الكثير من نتائجه المحاضرات التي كان يلقيها، وقد أصبحت هذه النتائج معروفة على نطاق واسع، على الرغم من عدم نشرها رسميا. وفي الحقيقة، فقد ظهرت أعماله لاحقا في مقام آخر.

لم يكن بلاك كذلك من الباحثين عن الشهرة. كان من الواضح أنه هادئ ذو صحة رقيقة، وعلى الأرجح مريض بالربو. كان يوصف بأنه طويل جدا ورفيع جدا وشاحب جداً وله عيون واسعة وداكنة وشعر خفيف ينثر عليه

«البودرة» ويجدله في ضفيرة طويلة. كان معروفا بتدقيقه في النواحي المالية، لكن ليس عن بخل كما كان يقال، في بعض الأحيان، كان من الواضح أن التدريس هو قوته. كانت محاضراته مشهورة لدرجة أن الطلاب الذين لم يكونوا في حاجة إلى هذا المنهج ظلوا يختارون الاستماع إليه (الأمر الذي يعتبره أي معلم للكيمياء غير عادي) اهتم بلاك بالتجريب، ولم ينفق الوقت الكثير على النظرية إلا إذا كانت مؤيدة بوضوح بواسطة التجربة. رفض بلاك فكرة العناصر الأربعة قائلا إن المواد يجب أن تقسم إلى طوائف بدلا من ذلك.

انتقل بلاك في النهاية إلى أدنبرة (ليخلف مشرفه كولن مرة أخرى)، وقام بالتدريس هناك. عاش حياته عازبا في هدوء، وفي صحبة أصدقائه الذين كان من بينهم آدم سميث الاقتصادي ودافيد هيوم الفيلسوف، وذلك في الجمعية الفلسفية (الجمعية الملكية بأدنبرة، كما أصبحت تسمى بعد الثمانينيات في القرن الثامن عشر)، وفي النوادي غير الرسمية التي كانت تشتهر بها أدنبرة: المختار والبوكر والمحارة. كانت مساهمات بلاك في الكيمياء أساسية ومتغيرة،لكن كأي معلم، فإن المقياس الحقيقي لنجاحه كان نجاح تلاميذه. كان دانييل رذرفورد ابن أخ السير والتر سكوت الروائي والشاعر هو أحد هؤلاء التلاميذ.

دانييل رذرفورد

ناقش دانييل رذرفورد في رسالته للدكتوراه «الهواء المثبت» الذي قال عنه بلاك، وقد سماه رذرفورد «الهواء السام»، (الهواء السام هو زفير أسطوري مؤذ وبائي وقذر يخرج من الأرض) ربما لأن الفلز لم يكن يساعد على التنفس . لاحظ رذرفورد أن الهواء العادي يحتوي على جزء «جيد» يساعد على التنفس، وعندما ينفد هذا الجزء ، فإن الجزء الباقي لايساعد على الحياة. كان يعرف أن جزءا من الهواء الجيد قد تحول إلى هواء مثبت (ثاني أكسيد الكربون) في أثناء التنفس، لذلك فقد ضمن رذرفورد في البداية أن الجزء الذي لايساعد على الاحتراق كان ملوثا بالهواء المثبت، لكنه بعد أن تخلص من ثاني أكسيد الكربون بإمرار الغاز في ماء الجير، فإن الغازات المتبقية ظلت لاتساعد على الاحتراق أو التنفس.

يُنسب لكل من بريستلي وكافندش وشيلي ، وهم كيمائيون سيأتي ذكرهم فيما بعد، أنهم في الوقت نفسه تقريبا أول من لاحظوا أن الغاز المتبقي ـ الذي نعرفه باسم النيتروجين ـ كان مختلفا عن الهواء العادي. لكن عموما، ينسب الفضل في اكتشاف النيتروجين لرذرفورد، لأنه أول من نشر عن ذلك (في رسالته) لكنه لم يعترف بأن النيتروجين مادة كيمائية متميزة، بل كان يعتقد أنها هواء جوي مشبع بالفلوجستين . كان المعتقد أن الفلوجستين تغادر المواد في أثناء الاحتراق إلى الهواء، لذا فإن رذرفورد فسر عدم احتراق المواد بأن الهواء كان مشبعا أصلا بالفلوجستين. ظلت فكرة الفلوجستين تعمل بشكل جيد كإطار نظري بالنسبة للكيميائي التالي «بريستلي» عندما قام بعزل الهواء المشبع بالفلوجستين.

جوزيف بريستلي

كيميائي إنجليزي، ابن حائك ثياب من يوركشاير . ارتبط اسمه بالانشقاق السياسي والديني، وقد رباه جداه لوالدته الكلفانيان (مذهب ديني) ربما لاعتلال صحة والدته. وعندما توفيت والدته وهو في السادسة فقط، أرسلوه ليعيش مع خالته، وفي بيت خالته احتك بالفلسفة المَشْيَخية ـ إحدى الطوائف البروتستانتية ـ وقد درب بريستلي ليصبح قسيسا مشيخيا.

وفي اختيار بريستلي أن يصبح قسيسا مشيخيا كطريق في الحياة، يمكن أن نرى دليلا مبكرا على استعداد بريستلي للعمل باستقلالية: فهو كمشيخي قد أصبح عضوا في مذهب ديني منشق (أي مذهب ديني غير مذهب الكنيسة الإنجليزية)، وعمله قسيسا كان يتطلب منه التحدث للناس، وقد اضطلع بذلك، بالرغم من الإعاقة اللغوية الموروثة. علاوة على هذا فإن بريستلي كان يؤيد قضية سكان المستعمرات ضد التاج البريطاني في حرب الولايات المتحدة من أجل الاستقلال (لم تكن وجهة النظر تلك مفضلة في إنجلترا). رفض بريستلي التثليث قائلا: «إن المسيح في طبيعته في الحقيقة والمطلق كان إنسانا، لكنه كان معظما من الرب»[4]، وهو الأمر الذي سيصبح معروفا باسم النظرة الموحدة (لم يكن يؤيد هذه النظرة إلا القليل من المسيحيين في ذلك الوقت).

بعد أن أتم بريستلي دراسته التحق بوظيفة قسيس في مكانين متتاليين

(لم تكن آراؤه غير التقليدية محببة لدى الجمهور التقليدي). وفي أثناء عمله في الوظيفة الثانية افتتح مدرسة (كانت الجامعات في إنجلترا مفتوحة للذكور فقط، الذين هم جمهور الكنيسة الإنجليزية في ذلك الوقت. أما الخارجون على التعاليم الإنجليكية فقد أسسوا مدارسهم الخاصة التي كانت تسمى الأكاديميات المعارضة، والتي كانت غالبا أكثر تقدمية من الجامعات التقليدية). كانت مدرسة بريستلي ناجحة لدرجة أنها أكسبته مركزا في أكاديمية معارضة مشهورة في وارينجتون، وهناك طلبوا منه أن يقوم بتدريس اللغات والتاريخ والقانون والخطابة والتشريع وبعض العلوم الأخرى لكن لم يطلب منه، كما لاحظنا ، أن يُدرِّس اللاهوت.

وجد بريستلي أن عليه أن يدرس بعض العلوم، إذا كان سيقوم بتدريسها. وكجزء من هذه الدراسة فقد كتب «تاريخ الكهرباء»، وهوالجهد الذي شجعه عليه بنيامين فرانكلين، الذي قابله في لندن. ولميله الواضح إلى لقاء الناس المشهورين، قابل بريستلي ، وتزوج ماري ويلكنسون ابنة إحدى أسر صناعة الحديد، والذي يعد عملها زينة في الاتجاه الصناعي لإنجلترا. ومع مسؤوليته الأسرية الجديدة، انتقل من وظيفة التدريس عائدا إلى وظيفة قسيس في مدينة ليدز.

عاش بريستلي في ليدز بجوار مصنع للبيرة، والتي كان بلاك قد بيَّن أنها مصدر جيد «للهواء المثبت» ثاني أكسيد الكربون. بدأ بريستلي في دراسة هذا الغاز بعقله المفعم بالحيوية، وقد لاحظ في أثناء دراسته أن هذا الغاز لا يذوب فقط في الماء، ولكنه عندما يفعل ذلك، فإن مشروبا طيبا ينتج عن ذلك. وقد فاز بميدالية «كوبلاي» المهمة من الجمعية الملكية في لندن على اختراعه لماء الصودا (وهو ماء الصودا نفسه الذي هو أساس صناعة المشروبات غير الروحية الدولية والتي تقدر ببلايين الدولارات). وانطلق في طريق حياته العلمية عدواً (من نافلة القول أن نذكر أن بريستلي قد اكتشف أن مطاط أمريكا الجنوبية والمسمى مطاط الهند يستطيع أن يمحو كتابة القلم الرصاص بكفاءة، وهو الاختراع الذي يدين له المؤلفان بالشيء الكثير).

سرعان ما استُوظف بريستلي بواسطة إيرل «شيلبورن»، ليكون سكرتيره، ومفكر القصر، وخازن المكتبة والمشرف على المعلم الخصوصي. أنجز

بريستلي معظم أبحاثه عن الغازات في أثناء السنوات الثمانية التي خدم فيها شيلبورن في البيت الريفي لشيلبورن في جنوب غرب إنجلترا.

تمكن بريستلي من فصل ثاني أكسيد الكربون بجمعه فوق الزئبق في قارورة زجاجية منكسة في الزئبق (لا يذوب ثاني أكسيد الكربون في الزئبق كما يفعل في الماء). وبهذه الطريقة تمكن بريستلي من تخليق «الهواء النيتروجيني» والمعروف اليوم باسم أكسيد النيتريك. كان الكثير من الكيميائيين قد لاحظوا الأبخرة البنية ـ الحمراء، التي تتولد في أثناء مهاجمة حمض النيتريك للفلزات، لكن لم يلاحظ أحد أكسيد النيتريك عديم اللون.

وجد بريستلي أن الهواء النيتروجيني إذا مكث فوق برادة الحديد يتكون غاز آخر يسبب توهج الشمعة المشتعلة أكثر من الاشتعال العادي، وقد أطلق على هذا الغاز، أكسيد النيتروز، اسم «الهواء النيتروجيني منقوص الفلوجستين» لأنه، تبعا لنظام الفلوجستين، فإن الغاز الذي يساعد على الاحتراق يفعل ذلك لأنه كان ينقصه الفلوجستين، كما كان يعتقد (فكان يسمح للفلوجيستون في المادة المشتعلة أن يتسرب إليه). فكر بريستلي في أن الهواء النيتروجيني كان غنيا بالفلوجستين بينما يتكون الهواء النيتروجيني، منقوص الفلوجستين، عندما ينتزع الحديد منه الفلوجستين ـ الأمر المنطقي في ضوء نظام الفلوجستين.

وجد بريستلي أن الأدخنة البنية لثاني أكسيد النيتروجين تتكون عندما يتفاعل أكسيد النيتريك مع الهواء العادي. كان هذا الغاز البني شيئا جديدا في تلك الأيام، لكنه أصبح اليوم مألوفا لكل إنسان في المدن الكبيرة. يتولد غاز أكسيد النيتريك في درجات الحرارة المرتفعة للاحتراق داخل محركات الجازولين من غازي النيتروجين والأكسجين في الهواء، ويتفاعل أكسيد النيتريك اليوم، كما كان يفعل في السابق: يتحد بالأكسجين في الهواء ليكون الأبخرة البنية المألوفة التي تشكل أحد المكونات الكبرى في الضبخان عندما يتراكم في طبقات الهواء الجوي.

كان بريستلي بعيدا عن هذه المشكلة قرنين من الزمان، لكنه وجد استخداما لهذا التفاعل: فعندما يتفاعل أكسيد النيتريك مع الأكسجين ليكون ثاني أكسيد النيتروجين (أي تصبح هناك ذرتان من الأكسجين متحدتان

مع النيتروجين وليس ذرة واحدة)، فإنه ينقص من كمية الأكسجين في الهواء. وفي الحقيقة لاحظ بريستلي أنه ينقص حجم الهواء العادي بمقدار الخمس تقريبا. وقد أعطاه ذلك طريقة لقياس ما سماه «ملاءمة» الهواء أو «جودة» الهواء للتنفس (الذي كان في الحقيقة نسبة الأكسجين فيه). كان هذا الاختبار قياسا للكم، أكثر منه قياسا للوقت، الذي يساعد فيه الهواء على تنفس فأر (كان هذا الوقت يعتمد على حجم الفأر وظروفه الصحية) وقد تطور هذا الاختبار في النهاية إلى جهاز لقياس محتوى الأكسجين في الهواء، وقد أطلق عليه اسم «إيديومتر».

واصل بريستلي أبحاثه فعزل ودرس غاز كلوريد الهيدروجين (الذي أنتجه من تسخين حمض الكبريتيك مع الملح، كلوريد الصوديوم). وغاز الأمونيا، النشادر، (الذي لاحظ تكونه عندما تمر شرارة في خليط من الهيدروجين والنيتروجين). وقد مزج كلوريد الهيدروجين والأمونيا (النشادر) في تجربة لابد أنها كانت سارة، ورأى كيف تتجمع السحب البيضاء عند التقاء الغازين، وكيف تستقر في شكل وسادة خفيفة من بلورات كلوريد الأمونيوم.

وفي أغسطس من العام 1774، حضَّر بريستلي الأكسجين بجمع الغاز الذي يتصاعد عندما يسخن أكسيد الزئبقيك. وسواء أكان بريستلي أول من حضَّر هذا الغاز أم لا، فإن ذلك سرعان ما أصبح موضوع جدل شديد، لكن في أغسطس 1774، كان بريستلي يعتقد اعتقادا «جازما» أنه كان أول من فعل ذلك، وقد وجد أن الشمعة تزداد اشتعالا في هذا الغاز، وأن الفحم المسخن يتوهج فيه. وعندما أعاد وضع الشمعة المشتعلة في عينة من الهواء، تفاعلت مسبقا مع أكسيد النيتريك، فقد وجد أن الهواء ظل يساعد على الاشتعال، فاستنتج أن عنده غازا جديدا، غازا يساعد على الاشتعال أكثر من الهواء العادي.

كتب بريستلي:

> لا أستطيع، بعد هذه الفترة الزمنية، أن أستجمع ما الذي كنت أهدف إليه من إجراء هذه التجربة، لكنني أعرف أنني لم يكن لديّ أي توقعات لحقيقة ما حدث. وإذا لم يكن لديّ، لسبب أو لآخر، شمعة متقدة أمامي، فربما لم يكن مقدراً لي أن أبذل هذه المحاولة، وربما توقف قطار تجاربي المستقبلة والمتعلقة بهذا النوع من الهواء[5].

ولأن الغاز الجديد كان أفضل من الهواء العادي في المساعدة على التنفس والاحتراق، فقد أطلق عليه «الهواء منقوص الفلوجستين». سافر بريستلي مع اللورد شيلبورن إلى أوروبا في أكتوبر لمقابلة كيميائي فرنسي معين هو «أنطوان لوريه لافوازييه»، ومناقشة نتائجه معه (كان لافوازييه في ذلك الوقت يبلور أفكاره الخاصة حول الهواء والاحتراق، وقد أحدثت مقابلته مع بريستلي مضاعفات، كما سنرى في القريب). وفي مارس 1775، كتب بريستلي عن قناعة بأنه أول من اكتشف الغاز الجديد: «حتى الآن لم يتمتع باستنشاقه سوى فأرين، وأنا نفسي»[6].

وإلى جانب اهتمامه بالتجارب على الغازات، فإن بريستلي، المحترف المدهش والكاتب، قد أنتج مجلدات في اللاهوت والتاريخ والتعليم والميتافيزيقا واللغات وعلم الجمال والسياسة. وقد كتب كمية من الأبحاث عن الغازات حتى أن الجمعية الملكية قد اقترحت عليه أن يستخدم عربة لنشرها بدلا من «أعمال الجمعية». وقد كتب بريستلي ستة مجلدات عن ملاحظاته وتجاربه على أنواع الهواء المختلفة في الفترة من 1774 وحتى 1786.

اختار بريستلي أن يترك خدمة اللود شيلبورن بعد العام 1780 (وهو القرار الذي ربما يكون قد اتُّخذ نتيجة الشعور غير المرضي بمناسبة الزواج الثاني للورد). لكن الفراق لم يكن بهذه القسوة لأن بريستلي أصبح يتقاضى مرتبا سنويا مدى الحياة من اللورد شيلبورن. وقد تزامن هذا التغير مع صعوبات اجتماعية أخرى. فلم يكن بريستلي موضع ترحيب قط من أعضاء الجمعية الملكية لأسباب سياسية ودينية. ويقال إن «كافندش»، موضوعنا القادم، تجنبه تماما. لذلك، فقد قرر بريستلي أن يستقر في برمنجهام بعد أن فارق راعيه اللورد.

توجه بريستلي في برمنجهام إلى مقر اللقاءات الجديد، وهو واحد من أكثر التجمعات الليبرالية في إنجلترا ويرتبط اسمه بجمعية القمر، وهي تجمع غير رسمي للمثقفين والعلماء ورجال الصناعة من خارج العاصمة، والذين يلتقون في أثناء اكتمال البدر (عندما كان السفر أسهل ليلا). وكانت الجمعية في خلال سنوات التحاق بريستلي بها تضم (ضمن آخرين) إيراسموس دارون، وريتشارد رادجوبرث، وجوناثان ستوكس، وجيمس وات،

وجسيا ويدجوود. وقد دعم الأعضاء أبحاثه ماديا ومعنويا، ولابد أن يكون بريستلي قد شعر أخيرا بأنه في بيته.

استمر بريستلي مع ذلك في السير ضد اتجاه الكنيسة والحكومة. وفي الذكرى السنوية لسقوط الباستيل، قامت مجموعات شغب باسم «الكنيسة والملك» بتحطيم مكان اللقاء «مقر اللقاءات الجديد» ومنزل بريستلي ومعمله (لم تعمل السلطات على منعهم بشكل جدي). انسحب بريستلي إلى لندن، لكنه ـ حتى هناك ـ ظل يشعر بتهديد متزايد من الاضطهاد السياسي. وأخيرا انتقل مع معظم أفراد أسرته إلى الولايات المتحدة.

عرضت عليه وظيفة الأستاذية في الكيمياء بجامعة بنسلفانيا، لكنه اختار أن يستقر مع المهاجرين البريطانيين الآخرين في ريف بنسلفانيا الهادئ. بدأ العمل في بيته ومعمله في بلده الجديد، فتمكن من تحضير غاز جديد، وذلك بإمرار البخار فوق الفحم المتوهج (معروف الآن باسم أول أكسيد الكربون) وكان هذا الغاز يحترق بلهب أزرق جميل.

توفي بريستلي في العام 1804، وعندما اجتمع المؤبنون حول قبره بعد 70 عاما للاعتراف بمئوية اكتشافه للأكسجين، قرروا إنشاء الجمعية (الجمعية الكيميائية الأمريكية) التي سيكون لها شأن عظيم في التطورات المقبلة[7]. لم يعلن بريستلي قط دعمه لنظرية الفلوجستين. استمر بريستلي في إلقاء الخطب اللاذعة أيضا متخذا جانب جيفرسون ضد إدارة جون آدامز. لكن لمفارقات القدر، عندما انتخب جيفرسون رئيسا وأصبح صديقا شخصيا له، فإن بريستلي اختار أن يموت في جو من الأنصار لهم المعتقدات نفسها (وهي نهاية لا تناسب رجلا عاش مشاكسا معاديا للمجتمع وللاستقرار).

يبدو إذن أن السلوك المعادي للمجتمع سمة شائعة بين كيميائيي الهواء المضغوط، كما سيتضح من الكيميائي الآتي، هنري كافندش. كان كافندش أول من درس الهيدروجين، الغاز الشهير في حادثة انفجار منطاد هيندنبرج، والذي أطلق عليه كافندش في وداعة، الهواء القابل للاشتعال.

هنري كافندش

لم يكن لهنري كافندش أي لقب على الرغم من أنه ولد لأسرة

أرستقراطية، لكنه عاش مستقلا وموسرا طوال حياته. ذهب إلى كامبريدج، لكنه لم يحصل على أي درجة علمية، الأمر غير العادي بالنسبة لشخص في وضعه، ثم عاش مع والده في لندن بعد كامبريدج، حيث بنى ورشة ومعملا، ليبدأ تاريخ حياته الفريد في البحث العلمي غير المقيد.

يبدو أن كافندش واحد من الشخصيات القلائل التي صادفتنا (أو ستصادفنا) والتي كانت في إخلاصها العلمي بعيدة عن دوافع خفية. وبروح الناسك لم يتزوج كافندش أبدا وكان يتجنب المجتمع العابث. كان والده عضوا في الجمعية الملكية، وقد ساعد ابنه ليجد مكانا له في الأوساط العلمية في لندن. وعندما اختير كافندش عضوا في الجمعية الملكية كان يحضر الاجتماعات بكل إخلاص. وابتعد عن الإعلان أو الشهرة، ولم يكتب طوال حياة الإنتاج، التي دامت 50 عاما، سوى أقل من 20 مؤلفا. لكنه عندما كان ينشر بحثا كان يلتزم منتهى الحرص والدقة. غطت أبحاثه المنشورة مجالا عريضا (الكهرباء ودرجات التجمد وكثافة الأرض) وما هو موضع اهتمامنا هنا، كيمياء الهواء المضغوط.

كانت أول مقالة منشورة لكافندش عن «الهواء المصطنع» أي الغازات المثبتة في بعض المواد، والتي يمكن إطلاقها مثل ثاني أكسيد الكربون في الكربونات. كان الهواء القابل للاشتعال هو أحد هذه الغازات المصطنعة، غاز الهيدروجين، والذي جمعه من تفاعل الفلزات مع الأحماض.

عندما أشعل كافندش الهواء القابل للاشتعال مع الهواء منقوص الفلوجستين (الأكسجين) الذي اكتشفه بريستلي، وجد أن الماء قد تكون، مؤكداً ما سبق أن شاهده كل من بريستلي ووات وآخرين. استنتج كافندش أن الهواء القابل للاشتعال (الهيدروجين) قد امتُصَّ بواسطة الهواء منقوص الفلوجستين (الأكسجين)، وأنه ـ أي الهيدروجين ـ فلوجستين نقي. وبالقطع، فإن الهيدروجين، بخفة وزنه وقابليته للانفجار، كان له من الصفات المميزة ما كان متوقعا للفلوجستين.

لكن، مع ذلك، كانت هناك عقدة: فقد وجد كافندش أن الماء الذي نتج كان يحتوي على كمية صغيرة من حمض النيتريك. استنتج كافندش (وكان على صواب) أن السبب في ذلك هو الهواء المضاف إليه الفلوجستين ـ الذي اكتشفه رذرفورد ـ (النيتروجين) والذي كان موجودا مع الشوائب في الهواء

منقوص الفلوجستين. وقبل أن ينشر بحثه، تأكد من هذا التفسير عن طريق الاشتعال المتكرر وإزالة حمض النتيريك. وعندما لم يتبق أي أكسجين أو نيتروجين يمكن إزالته، وجد كافندش أن هناك جزءا صغيرا ما زال موجودا من الغاز. ظل هذا الحجم الذي لم يتفاعل من الغاز ـ ومقداره ١٪ ـ من دون تفسير لأكثر من مائة عام حتى جاء رايلي ورامزي، واكتشفا أنه الأرجون الموجود في الهواء الجوي.

وكما للاحتراق من دهشة، فإن الانفجارات كذلك، وقد كان الغاز الجديد القابل للاشتعال (الهيدروجين) يستطيع أن يحترق وينفجر. وقد كان هناك على الأقل أحد المتهورين الذي رغب في استنشاق الغاز ثم إشعاله عندما يخرج في هواء الزفير. عموما، عندما حاول أن يفعل الشيء نفسه مع خليط من الهيدروجين والهواء العادي: «كانت النتيجة انفجارا مفزعا حتى أنني تخيلت أن أسناني كلها قد اقتلعت»[8] وقد صمم الدكتور جاك تشارلز ـ الاسم الذي سنعرض له مرة أخرى ـ أول بالون مملوء بالهيدروجين، وصعد به إلى الهواء أمام دهشة 300 ألف متفرج، مفتتحا بذلك تاريخ غزو الهواء.

لم يكن كافندش نفسه ليشترك في مثل هذه المسرحيات، وفي الحقيقة لم يكن حتى ليقوم بالتدريس أو يؤجر مواهبه الكيميائية لقاء نقود. ويمكن أن نصفه بأنه كان غير ودود اجتماعيا: كان يرتدي موضة خمسين سنة مضت، وملابسه متسخة و رثة وكان عليه معطف طويل الياقة. وكان لاذعا، وله عادات صارمة (حتى مع نفسه)، ولا دينيا. وكانت هناك أقوال عن أنه كاره للبشر، لكنها قد تكون أقوالا غير عادلة: إذ ربما كان غير عابئ بالبشر أكثر من كونه عدوا لهم: فعندما تعرض خازن مكتبته الذي كان يعمل عنده لأزمة حادة بعد أن ترك العمل معه، وأخبر أحد الأصدقاء المشتركين كافندش بذلك، قال كافندش أنه آسف لسماع ذلك. وفقط عندما اقترح الصديق تخصيص مبلغ سنوي لهذا الرفيق، فإن كافندش استجاب بمبلغ يعد ثروة طائلة في تلك الأيام، عشرة آلاف جنيه.

ومهما كانت الأسباب فإن كافندش كان غير اجتماعي في النهاية. فعلى فراش الموت لم يكن معه سوى خادمه الخصوصي. وحتى هذا الخادم طلب منه كافندش أن يذهب بعيد لئلا يزعجه حتى ساعة معينة. وعندما رجع

الخادم في الساعة المعينة وجد مخدومه قد مات. وقد بدأنا نشك في أن هناك شيئا ما في الهواء الذي تعامل معه هؤلاء الكيميائيون المعنيون بالهواء المضغوط لأن موضوعنا القادم يبدو أن له عاداته الاجتماعية الخاصة المميزة له.

كارل ويلهلم شيلي

اختار السويدي كارل ويلهلم شيلي الصيدلة طريقا في الحياة. كان الابن السابع من أحد عشر طفلا، وكان أكثر اهتماما بإجراء أبحاث على الكيماويات عن إنتاجها وبيعها. عمل بعد أن تدرب لمدة 13 سنة فني إنتاج قبل أن تتاح له فرصة العمل المستقل. كانت هذه الفرصة على شكل أرملة صيدلاني كانت تبحث عن مدير لصيدلية زوجها. تقدم شيلي للوظيفة، لكنه وجد العمل عبئا ماليا، وتيقن أن الأرملة ستضطر لبيعه قريبا. عقد شيلي مع الأرملة صفقة حيث اتفقا على أن يدير شيلي الصيدلية لمدة عام ليتمكن من تحسين وضعه المالي، ويتفاوض مع الأرملة على شراء الصيدلية. تفاوضت الأرملة مع مشترٍ آخر غير معروف، وكادت الفرصة أن تضيع من شيلي. غير أن الزبائن المحليين كانوا سعداء بعلم شيلي، لدرجة أنهم طلبوا من الأرملة أن يستمر شيلي في العمل، وهذا ما فعله. وقعت له الأرملة الشابة متنازلة عن الصيدلية، ومكثت معه كمديرة للبيت.

وكداعية للفلوجستين بكل تأكيد شرع شيلي في دراسة تأثير الفلوجستين في الغازات. وعندما لاحظ أن الاحتراق يقلل من حجم الهواء، وأن الهواء الذي لا يساعد على التنفس والمتبقي أقل كثافة من الهواء العادي، فسر ذلك بأن الفلوجستين من المادة القابلة للاشتعال يتحد مع أحد مكونات الهواء العادي ويتشتت على شكل حرارة عديمة الوزن (فرضية معقولة تصلح للعمل بها) وقد أطلق شيلي على هذا المكون المجهول اسم «هواء النار» وكان معنيا بعزله.

ولأن حمض النيتريك يؤثر في بعض الفلزات وينتج أكاسيدها تماما كما يحدث عند تسخين الفلزات في الهواء، فإن شيلي فسر ذلك بأن حمض النيتريك لابد أن يمتص الفلوجستين من الفلز مثلما يفعل الهواء عند تسخين الفلز. لذلك، إذا كانت الحرارة هي الفلوجستين وهواء النار معا، كما كان

يظن شيلي، فإن تلامس النار وحمض النيتريك سيطرد الفلوجستين ويخلف هواء النار.

ولتحقيق ذلك بالتجربة، قام شيلي بتثبيت حمض النيتريك (جعله صلبا)، بأن جعله يتفاعل مع أيدروكسيد البوتاسيوم، ثم سخن نترات البوتاسيوم الناتجة في معوجة مثبت عليها قارورة بها ملح يمتص أكاسيد النيتروجين. وكما كان يأمل، فإن القارورة قد ملئت بغاز كان يجعل الفتيل المشتعل يتوهج بسطوع. وأكثر من ذلك، عندما امتزج هذا الهواء مع الهواء المستنزف (بالاحتراق) استرجع الهواء، ثانية، خاصية المساعدة على التنفس، وأصبح هواء عاديا. لقد عزل شيلي الأكسجين وسماه «هواء النار».

ومثل الفتيل الذي كان يستخدمه، اشتعل شيلي بسطوع، لكن ليس لفترة طويلة، فقد مات في سن 44 عاما، بعد أن قام بأعمال كثيرة. عاش دفء الصحبة، لأن الأرملة لم تفارقه. وقبل أن تنهار صحته، أوصى بالصيدلية لها وقبل وفاته بيومين اثنين فقط، وثق أواصر الصداقة معها بالزواج.

ومع أن شيلي لم يكن معزولا، إلا أنه لم يكن على الطريق المطروق إلى حد ما. فعلى الرغم من أن مذكراته المعملية تبين أنه ربما يكون قد عزل الأكسجين قبل بريستلي، إلا أنه عندما نشر نتائجه أخيرا كان الأكسجين قد أصبح معروفا. ومن المعروف جيدا ظاهرة أن يصل أكثر من شخص إلى الاستنتاج نفسه إذا كانت لديه مجموعة البيانات نفسها. لذلك من الصعب أن نحدد لمن ننسب الأولوية في كل تقدم في العلوم (وفي الواقع ليست من التنوير في شيء). والمثير فعلا هو أن نرى كم من الناس واتتهم الفكرة. وبكم طريقة مختلفة تم ذلك. فمثلا استبقت أعمال ميخائيل فاسيليفيتش لومونوسوف التقدم المفاجئ الذي سنعرض له بالتفصيل في الفصل القادم. كان هذا الكيميائي عموما روسيا، وكانت روسيا في ذلك الزمن بعيدة قليلا عن الطريق المضروب، ولو أن ذلك لم يدم طويلا. وكما تحدى لومونوسوف الشباب الروسي، سيأتي وقت «نبين فيه أن الأرض الروسية تستطيع أن تلد العديد من أمثال أفلاطون ونيوتن الحاد الذهن»[9].

ميخائيل فاسيليفيتش لومونوسوف

تعلم ميخائيل فاسيليفيتش القراءة والكتابة في سن مبكرة، فقد كان

موهوبا وخاصة في اللغات. سافر إلى موسكو للدراسة وهو في العشرين، ضد رغبة والده، وتمكن على الرغم من ميزانيته المحدودة من السفر إلى ألمانيا وهولندا. عاد بعد ذلك إلى سانت بطرسبرج ليتزوج ويمكث في روسيا بقية حياته.

كتب في الشعر، وكتبا عدة في الأجرومية (النحو)، وفن البلاغة، فقد كان متعدد المواهب بشكل غير عادي. لكن التبصر في العلم عادة يتطلب ذهنا خلاقا وتحليليا. وكانت بصيرة لومونوسوف في أنه رفض أن يرى الفلوجستين، حيث لم يكن هناك شيء يُرَى. سخن الفلزات في أوعية مغلقة بإحكام، فوجد ـ على عكس بويل ـ أنه لا توجد زيادة في وزن النظام. والأكثر من ذلك، أن لومونوسوف لم يرى أي ضرورة في اللجوء إلى الفلوجستين لتفسير النتائج. وكان يعتقد أنه يمكن تفسيرها بافتراض أن شيئا ما من الهواء قد اتحد مع الفلز. ولسوء الحظ لم يكن لومونوسوف ذا منزلة رفيعة في العلم، كما لم يكن أي روسي في ذلك الوقت، حتى يتمكن من جعل وجهات نظره مؤثرة. فقبل أن تكتسب هذه الأفكار قبولا، لابد أن تطرحها أمة ينظر إليها كأمة مقبولة علميا بصورة أكبر: وبالتحديد كان هذا الدور مكتوبا لفرنسا في القرن الثامن عشر.

على أنه حيثما وقعت أحداث التقدم المفاجئ، فإنها تصبح قدرا محتوما، ولقد مثلت نظرية الفلوجستين نوعا من السعي إلى إمرار وتد مربع المقطع من حلقة دائرية. فلقد بلغت الفيزياء والفلك خلال القرن الثامن عشر درجة من المنهجية بدت معها الكيمياء كأنها لابد أن تسلك السلوك نفسه. وكما لو كانت بمحض الصدفة، خرج الكيميائيون بالفلوجستين آملين أن يكون هو النظام الموحد لهم. لكن نظرية الفلوجستين كانت أكثر من إبداع تاريخي: لقد بينت أن البحث عن الحقيقة يمكن أن يتأثر برغبة الباحثين في العمل ضمن إطار مستقر من الفكر، وأنه من الممكن أن يقع الإنسان في حب نظرية. وقد جعلت المرونة، التي أسبغها ستال على نظرية الفلوجستين، من الممكن استعمالها لتفسير عدد من الظواهر: كان أسوأ نقد فيما يبدو هو أنه لم يكن من الضروري التضرع إليها لتفسير النتائج. فمع كل نجاح كانت تزداد تحصينا، وبدت أكثر فأكثر قوة، حتى أن خلعها كان يتطلب ثورة. وفي النهاية حدث ذلك.


القسم الثاني

8 القرن الثامن عشر: الثورة

- الثورة الكيميائية
- تجربة تحول الماء
- الحرارة والضوء
- تأملات بشأن الفلوجستين

الملاحظة الواردة في آخر الفصل السابق، عن أن فرنسا كانت هي الثقافة المقبولة علميا، ربما تكون أثارت بعض الفضول لمزيد من القراءة، لأننا عرضنا بالتفصيل في الفصل السابق لأعمال روسي واحد، واسكتلنديين، وسويدي، وإنجليزيين، ولم نعرض لكيميائي فرنسي واحد. وسبب هذا في الواقع لم يكن لعجز في المادة، بل على العكس، لفائض فيها يستطيع أن يتكفل بفصل مستقل. كانت فرنسا مركز التنوير في أوروبا، وبلغ ولع التخلص من التقليد أقصى حد فيها: الثورة. وقد شهدت فرنسا في القرن الثامن عشر ثورتين - واحدة سياسية، والأخرى كيميائية.

الثورة الفرنسية

أسبغت فلسفة التنوير قيمة كبيرة - من وجهة النظر السياسية - على المساواة والحرية الشخصية للأفراد. وفي فرنسا كانت هناك حاجة ملحة للحرية والمساواة: فالبلد في ضائقة مالية، والذين كانوا يتحملون وطأة الدين لم تكن لهم المقدرة على فعل أي شيء تجاهه. في ظل نظام الضرائب القائم، لم تكن الكنيسة أو النبلاء يدفعون أي ضريبة. أما

البرجوازية (الطبقة الوسطى)، التي كانت تدفع الضرائب، فقد كان عليها أن تفعل ذلك من خلال مؤسسات خاصة للضرائب تسمى شركات الضرائب. اشترت هذه الشركات حق جمع الضرائب، وذلك بدفعها للملك ثم النـزول إلى الناس (السوقة والطغمة) لجمع تلك الضرائب، وأي فائدة أخرى يستطيعون أخذها من الناس. وقرب نهاية حكم لويس الخامس عشر، كان في فرنسا مليون شحاذ من 23مليون فرنسي واحد لكل 23 مواطنا.

حاول لويس السادس عشر (حسن النية لكنه ساذج وضعيف كملك) أن يجري إصلاحات ضريبية، لكنه لم ينجح سوى في إثارة النبلاء وقد كوَّن بعض هؤلاء النبلاء ـ متأثرين بالتنوير وحرب الاستقلال الأمريكية ـ جمعية وطنية لتضع أسس الإصلاح الحكومي. وعلى الرغم من هذه الجهود الرامية إلى الإصلاح، إلا أن غالبية الفرنسيين ظلوا غير راضين. وبالإضافة لذلك، فعندما ساء المحصول وهبطت التجارة، بانتهاء حرب الاستقلال الأمريكية، تدهور الاقتصاد. وامتنع المزارعون عن دفع عوائد الأرض والضرائب. واجتاح سكان المدينة سجن الباستيل في محاولة لتسليح أنفسهم ضد الحشود الجائعة القادمة من الريف. وكردٍّ فعل لذلك قامت الجمعية الوطنية بتأميم أراضي الكنيسة، وإلغاء نظام الإقطاع وأوجدت نظاما لحكومة مركزية ممثلة للجميع، لكن الحكومة بدأت بداية مرتعدة.

وفي وسط هذه المعمعة السياسية، احتد الجدل الفلسفي حول الفلوجستين لدرجة الاحمرار. انقسم العلماء إلى معسكر مؤيدي الفلوجستين ومعسكر أعداء الفلوجستين. وقد جاءت وجهات نظر كل فريق على أساس قومي وشخصي بأهمية الأساس التجريبي نفسه. تُوصل إلى حل لهذا الجدل، لكن الحل كان جذريا لدرجة أنه أصبح ثورة خاصة بذاته.

الثورة الكيميائية

جاءت الثورة الكيميائية ثورة على صوفية السيميائيين وسلطة الاسكولائيين واستبداد فلسفة من مات من زمن بعيد (أرسطو). كانت أسلحة هذه الحرب هي القياسات التحليلية الدقيقة أو الدقة في الفكر النظري. كانت أولى النتائج المبكرة للثورة الكيميائية هي إعادة تعريف العناصر الكيميائية كمواد مستقلة لها خصوصياتها وصفاتها. أما النتائج

التي جاءت على المدى البعيد فهي رفض النظرية الكيميائية المبنية على أساس الانطباعات والتخمين وإحلال النظرية المبنية على نتائج تجريبية قابلة للتحقيق محلها. ومع أن عدد الممثلين كان كبيرا في هذه الدراما الفلسفية، إلا أنه كانت هناك شخصية مركزية بكل تأكيد: أنطوان لورين لافوازييه: الكيميائى، وجابي الضرائب والذي كان على قناعة بأن الحساب الختامي للعلم لابد أن يمثل إضافة.

وعندما كتب لافوازييه كتبه لم يكن للفلوجستين مكان فيها.

أنطوان لورين لافوازييه

كانت أسرة لافوازييه جزءا من البورجوازية الفرنسية الناجحة، وكان شبابه هانئا لذلك. كان والده محاميا وأمه ابنة محام، تزوجت بدوطة كبيرة، وكان لافوازييه طفلا مدللا محبوبا من والديه. كان ثاني طفلين في أسرته، ولما ماتت أخته في سن المراهقة وماتت أمه وهو في الخامسة تولت جدته لأمه، التي ترملت حديثا، تنشئته هي وإحدى خالاته التي لم تتزوج.

حصل على أفضل تعليم ابتدائي متاح، ولما حان وقت اختياره للتخصص، بدأ بدراسة القانون (شيء طبيعي). لكنه تحت تأثير صديق الأسرة الجيولوجي «جيوتارد» على الأرجح، التحق بدراسة الكيمياء في الحديقة الملكية، حيث كان الأستاذ «بورديلان» هو المحاضر الأساسي. كانت للمحاضرات شعبية كبيرة، ومعظم الناس كانوا يحضرونها ليس لذاتها ولكن لمشاهدة العرض (العمل الذي كان يتبع المحاضرة مباشرة وكان يجريه الصيدلاني المفعم بالحيوية والمرح «جويلوم ـ فرانسوا رويل»). كانت نتائج العرض العملي تتعارض أحياناً مع النظرية التي قالها المحاضر في محاضرته.

وطبقا للعديد من الروايات فإن رويل كان متحمسا لعمله ولا يخجل من فعل أي شيء ، فقد كان يصل إلى المحاضرة في أبهى حلة، لكن في أثناء التجارب كان يخلع شعره المستعار وينزع صدريته ويظل فقط في قميص بأكمام. لذلك كان يصفه البعض بأنه غير متعلم ونصف أمي، لكن أسلوب رويل غير التقليدي حقق الهدف منه: استحوذ على اهتمام القاعة، وكان

لافوازييه بين الحاضرين.

وعلى الرغم من أن لافوازييه قد اجتاز امتحان المحاماة في الستينيات من القرن الثامن عشر، إلا أن اهتمامه بالكيمياء لم يضعف. سافر مع الجيولوجي جيوتارد فى رحلة مسح للمعادن في الإلزاس واللورين، وفي سن 21، قرر أن يصبح عضواً في أكاديمية العلوم. كانت أكاديمية العلوم الفرنسية، التي أنشئت في العام 1666، تقوم بالدور نفسه الذي تقوم به الجمعية الملكية في إنجلترا: منتدى للنقاش ووسيلة للنشر مع بعض الإمكانات المعملية للتجارب. ومثل الجمعية الملكية، كانت عضوية الأكاديمية الفرنسية للعلوم تتم بالانتخاب. وفي الوقت الذي لم يكن فيه والد لافوازييه ولا خالته عازفين عن تجنيد كل إمكاناتهما لاكتساب هذه العضوية من أجله، لم يكن لافوازييه في حاجة إلى دعمهما. فبحثه حول طرق أفضل لإنارة الشوارع العامة كان قد نشر بواسطة الأكاديمية، ومنح ميدالية ذهبية من الملك. أصبح لافوازييه عضوا مزاملا في الأكاديمية وهو في سن 25، وعضوا كامل العضوية وهو في سن 26. وسرعان ما أكد للأكاديمية أن قرارها باختياره كان صائبا، وذلك بإتمامه بحثا أصيلا رائعا: تجربة تحول الماء. استعرض لافوازييه بهذه التجربة نيته الجادة في اعتناق المبدأ الذي أشار إليه هيلمونت وبلاك، والذي كان يذكر أو يهمل بواسطة أنصار الفلوجستين: مبدأ الحفاظ على الكتلة.

تجربة تحول الماء

ساد اعتقاد منذ قديم الزمان أن تسخين الماء مرارا ولفترة طويلة يحوله إلى تراب. وظل هذا الاعتقاد بندا من بنود العقيدة السيميائية. ويرجع السبب في ذلك إلى وجود راسب متبق عندما يتبخر الماء (بقع الماء معروفة جيدا على الأطباق عندما تجف). وفى الحقيقة فإن الماء مذيب رائع للأملاح غير العضوية لدرجة أنه من الصعب الحصول على ماء نقي بشكل مطلق (أى الماء الذي لايترك بعض الرواسب). ولأن الماء الذي يحتوي على أملاح ذائبة قد يبدو شفافا تماما، لذلك لم يكن هناك من سبب لدي السيميائيين لأن يشكوا في أن الرواسب المتكونة بعد تبخير الماء هي في الأصل مواد ذائبة في الماء. لكن لافوازييه كان يؤمن بأن هذا التحول يجب أن يخضع

للاختبار. قام لافوازييه بوزن بعض الماء المقطر باحتراس شديد، وقد بدأت قياسات الوزن تحظى بالاعتراف كشيء مهم. وضع الماء المقطر في إناء زجاجي محكم الإغلاق ثم سخنه لمدة 101 يوم دون انقطاع. وعندما وزن الجهاز المحكم الإغلاق لم يجد أي تغير في الوزن، الأمر الذي يعني أنه لم يدخل إلى الماء أي شيء من خلال زجاج الوعاء. ظهرت بعض النقاط في الماء؛ لكن عندما وزن لافوازييه الماء وحده وبه النقاط ووزن الوعاء الزجاجي الجاف وحده، اكتشف أن الوعاء فقد من الوزن بقدر ما اكتسب الماء بالضبط (أى بقدر وزن المادة المعلقة في الماء). وبعبارة أخرى، لم تكن المادة المعلقة في الماء نتيجة للتحول، ولكن على الأرجح نتيجة انسلاخ شذرات من جدران الوعاء الزجاجي. وهكذا دحض لافوازييه نظرية كانت مستقرة من نظريات السيميائيين بمجرد تصميم وتنفيذ تجربة واحدة بشكل جيد، وأثبت أن النظرية الكيميائية السليمة لابد أن تكون قابلة للتحقق تجريبيا.

ومهما كان لافوازييه موهوبا، فإن مثله مثل العلماء في ذلك الوقت، لابد أن يمولوا تجاربهم الخاصة. وفي محاولته للحصول على تأمين مادي، ارتكب واحدة من أفضل الخطوات وأسوئها في حياته: استثمر ميراثه من والدته في شراء العضوية في إحدى مؤسسات جمع الضرائب. أما لماذا كانت واحدة من أسوأ الخطوات، فذلك ما سنراه حالا. وكانت واحدة من أفضل الخطوات لأنه التقى بجاك بولز، وهو جامع ضرائب آخر، وابنته ذات الثلاثة عشر ربيعا التي ستصبح زوجة لافوازييه قبل أن تبلغ عامها الرابع عشر.

ماري آن بيريت بولز لافوازييه (Marie Ann Pierrette Paulze Lavoisier)

تلقت ماري تعليمها في أحد الأديرة منذ وفاة والدتها وهي في سن الثالثة. كانت ماري آن بيريت لافوازييه موهوبة في الفن واللغات. وكان لابد أن تملك نزعة فطرية للعلوم، لأنها دلفت إلى أعمال لافوازييه العلمية مباشرة: ترجمت المقالات العلمية، وعملت في المعمل، وكتبت مذكرات المعمل، ورسمت التجارب في شكلها النهائي. بعد أن حصل لافوازييه على الاستقرار والتمويل الجيد والمساعدة الجيدة، بدأ العمل فيما يمكن أن يكون أهم عمل قام به: تثوير الكيمياء باستخدام مبدأ الحفاظ على الكتلة.

عندما سمع لافوازييه عن تقرير لأحد الصيادلة الباريسيين، «بيير ميتور» يقول فيه إنه يبدو أن الفوسفور يمتص الهواء عندما يحترق ليكون حمضا، فإنه كرر هذه التجربة مع الفوسفور ومع الكبريت. وقد اكتشف فعلا أن الأحماض المتكونة تزن أكثر من المواد التي بدأ بها. كتب لافوازييه هذه النتائج في مذكرة مغلقة بإحكام وأودعها في الأكاديمية، الأمر الذي كان شائعا وقتها، وكان يقوم مقام التسجيل والاحتفاظ بالأحقية في الاختراع أو الاكتشاف. (كان نشر المقالات العلمية في مجلة الأكاديمية يستغرق عدة سنوات). وأثناء عمله مع رفاقه في الأكاديمية قام بإشعال قطعة من الماس بتركيز ضوء الشمس عليها من عدسة لامة (حارقة). ووجد أن ثاني أكسيدالكربون هو ناتج الاحتراق. وهو الغاز الذى وصفه بلاك بأنه الهواء المثبت. وقام في تجارب أخرى بتسخين أكاسيد الفلزات (الكلس) فى وجود الفحم، فوجد أن الهواء المثبت يتصاعد مرة أخرى. وبإعادة دراسة هذه النتائج، كتب لافوازييه فى مذكراته بكل تأكيد معروف عنه:

> كل هذا العمل... فيما يبدو سوف يحدث ثورة في الفيزياء والكيمياء. لقد شعرت بأن كل ماجرى قبلي يحتثي لزوما على إعادة النظر فيه. وقد اقترحت أن نعيده كله مع ضمانات جديدة. وذلك لنربط معلوماتنا عن الهواء الذي يتحد مع المواد أو الذي يتحرر منها بمعلومات أخرى اكتسبناها حتى يتسنى لنا وضع نظرية[1].

وسرعان ما أصبح لدى لافوازييه نظريته وثورته عندما تمكن من تعيين هوائه.

الأكسجين

وصل لورد شيلبورن وسكرتيره جوزيف بريستلي إلى باريس في أكتوبر 1774. وأثناء زيارتهم تناولوا الغداء مع لافوازييه والعديد من العلماء الفرنسيين الآخرين. وأثناء هذا الغداء أخبر بريستلي المجموعة الملتئمة عن الهواء الجديد الذي اكتشفه والذي يسبب توهج الشمعة المشتعلة أكثر من الهواء العادي. وكم من أعمال لافوازييه التالية قد اعتمدت على الإلهام الذي أوحى به بريستلي فإن ذلك محل جدل. لكن بريستلي كان بكل تأكيد يرحب بهذا الجدل فيما بعد. اختبر لافوازييه فعلا الهواء الذي تمتصة الفلزات بالتسخين. وعلى الرغم من أنه كان يعتقد أن هذا الهواء هو الهواء المثبت

الذي قال عنه بلاك، أي ثاني أكسيد الكربون، وكان على الأرجح سيربط بينه وبين الأكسجين سواء بالمعلومات الجديدة التي جلبها بريستلي أو من دونها. وقد يكون لافوازييه قد سمع بالفعل عن هواء النار الذي قال عنه شيلي، وربما يكون قد سمع أيضا أن بعض الباحثين الآخرين، مثل بيير باين، الذين لاحظوا غازا يتصاعد من تسخين أكسيد الزئبقيك. ولكن، أيا ما كان الطريق الذي أفضى بلافوازييه إلى استنتاجاته الخاصة، فإنه بحلول مارس 1775 استطاع أن يعلن أن الغاز الذي يتصاعد من تسخين أكسيد الزئبقيك هو غاز يشابه كثيرا الهواء العادي.

أشار بريستلي، عندما اطلع على نتائج لافوازية، إلى أن الغاز يملك «جودة» ـ مقدرة المساعدة على التنفس ـ أكبر من الهواء العادي، ساردا اختباراته الخاصة على أكسيد النيتريك.

وأجرى لافوازييه الاختبار نفسه على عينة مما أسماه «الهواء منقوص الفلوجستين للسيد م. بريستلي (كذا)»[2]، ووجد أن ماقاله بريستلي كان حقيقيا. لكنه قرأ بحثا أمام الأكاديمية بتاريخ 25 أبريل 1775، عنوانه: «طبيعية المادة التي تتحد بالفلزات في أثناء التكلس وتزيد من وزنها[3]، ولم يشر فيه إلى مساهمات بريستلي وشيلي وباين، كما أنه لم يلجأ إلى الفلوجستين.

من الواضح أن لافوازييه كان يؤمن بأن له بعض الحق في اعتباره مكتشف الأكسجين. وفي الوقت الذي لم يكن فيه لافوازييه هو أول من عزل هذا الغاز فيزيائيا واختبر خواصه، كان أول من اعترف بأن هذا الهواء ليس مجرد نوع من الهواء العادي، ولكنه مادة نقية قائمة بذاتها وذات خواص فريدة. وبالقطع، فإن لافوازييه يستحق شرف التزامه الدقيق بحساب تساوي الكتلة بين المتفاعلات والنواتج (ميزانية الكتلة) والذي يترك مكانا للفلوجستين.

عين لافوازييه مديرا علميا للإدارة الملكية للبارود في 1775، وقد رحل هو وماري إلى دار السلاح في باريس. وهنا أسس لافوازييه معملا، وسرعان ما اكتشف وسيلة لتحسين نوعية نترات البوتاسيوم المستخدمة في البارود الفرنسي. وهنا أيضا أجرى تجارب بمساعدة ماري لافوزاييه وآخرين (سنقابلهم قريباً) على الاحتراق والتنفس، وبدأ في نشر أبحاث توضح

أفكاره عن دور الأكسجين.

وفي بحث له نشر العام 1777، توصل إلى استنتاج أن كل الأحماض تحتوي على نسبة من «أنقى جزء من الهواء»[4]. وقد استخدم كلمة «أكسجين» من اللغة الإغريقية لتسمية هذا الجزء من الهواء، وكان يعني بها «مكون الحمض»، لكن كان هذا الافتراض خاطئا. فبينما كان الأكسجين فعلا جزءا من حمض الكربونيك والكبريتيك والنيتريك والكثير من الأحماض العضوية، إلا أنه لا يدخل في تكوين أحماض مثل حمض الهيدروكلوريك. وقد تمت الإشارة لذلك آنذاك أمام لافوازييه. عارض لافوازييه بقوله إن الأمر يبدو كذلك، وإن تركيب حمض الهيدروكلوريك لم يعرف بالضبط بعد.

وفي ضوء فهمنا الحالي للكيمياء يبين أن فكرة وجود عنصر في مركب يحدد طبيعته ـ أى أنه إذا كان في المركب أكسجين، فلابد أن يكون حمضا ـ هى تبسيط أكثر من اللازم. فكلوريد الصوديوم (ملح الطعام) موجود في طعام كل إنسان ولايسبب إلا القليل فقط من المشاكل. وفي الحقيقة يحقن محلول الملح أو الماء المالح في الوريد لمنع الجفاف. ومع ذلك، فالصوديوم فلز يتفاعل بشراسة مع الماء، أما الكلور فهو غاز سام جدا. ومن الواضح أن كلوريد الصوديوم لا تأتي صفاته من صفات الصوديوم والكلور. وتشبه قناعة لافوازييه بأن وجود الأكسجين يعطي الطبيعة الحمضية للأحماض، تشبه أفكار أرسطو البالية عن الصفات المرتبطة بالعناصر: فالنار ساخنة وجافة، والماء بارد ورطب، وهكذا. ظل هذا الفكر مستحكما مادامت نظرية العناصر الأربعة لاتزال هى النافذة. وبينما تمكن لافوازييه من التحرر من الأخيرة (نظرية العناصر الأربعة) إلا أن النظرية الأولى (ارتباط الصفات بالعناصر) كانت لا تزال تؤثر في أفكاره عن الأحماض. وعموما، كان ذلك الاقتناع هو الذي أدى إلى التجربة الأخيرة التالية التي سنناقشها، وإلى اتهامه بالانتحال.

تركيب الماء

لاحظ العديد من الباحثين أن الماء يتكون عند اشتعال خليط من الهيدروجين والأكسجين (أو الهواء العادي) ، لكنهم كانوا حذرين في

استنتاجاتهم. اكتشف بريستلي الماء من اشتعال الهيدروجين في الهواء العادي، لكنه لم ينشر هذه النتائج. كذلك كرر جيمس وات، الشهير بآلته البخارية، التجربة كما فعل كافندش. حضر عينة كبيرة من الماء بهذه الطريقة ولكنه لم ينشر نتائجه مباشرة بعدها، لأنه وجد أن الماء حمضي بعض الشيء. استطاع أن يحدد مصدر الحمضية ـ كميات صغيرة من النتروجين موجودة في الأكسجين هى التي كونت أكاسيد النتروجين التي تتفاعل مع الماء لتعطي الحمض ـ ثم نشر النتائج بعد ذلك. لكن بحلول هذا الوقت، كان آخرون، من بينهم لافوازييه، محل دراية بالتفاعل.

زار مساعد كافندش، تشارلز بلاجدين (شخص ثان ترك له كافندش راتبا سنويا كبيرا) باريس 1783. وقد قام بكل كرم بنقل معلومات عن تجارب كافندش ووات إلى لافوازييه. تحقق لافوازييه من أن الماء هو الناتج الوحيد الدي يتكون من خليط الأكسجين والهيدروجين، وليس الحمض، كما كان يظن. ذهب لافوازييه لأبعد من ذلك بخطوة، وفكك الماء بإمرار البخار من خلال ماسورة بندقية مسخنة حتى الاحمرار، وقد جمع الهيدروجين وأكسيد الحديد كناتج نهائي. لم يتردد لافوازييه. أعلن أن الماء ليس عنصرا كما كان يظن سابقا، لكنه اتحاد الأكسجين بمادة قابلة للاشتعال، أسماها الهيدروجين ـ من الإغريقية ـ وتعني مولد الماء. زعم لافوازييه أسبقيته في هذا الكشف، وأشار إشارات طفيفه إلى أعمال الآخرين. وربما تكون قد أثيرت ضجة بشأن ذلك، وهو أمر مفهوم. شعر وات أن كافندش ولافوازييه قد استخدما بعضا من أفكاره، لكن الثلاثة كانوا بالطبع مدينين لبريستلي. ومرة أخرى لعله من المناسب أن نؤكد أن مغزى أعمال لافوازييه ليس في توقيت إجراء التجارب ولكن في تحليله للنتائج. من النتائج نفسها استنتج كافندش أن الهواء القابل للاشتعال (الهيدروجين) كان في الحقيقة ماء مضافا إليه الفلوجستين. وعندما يتحد مع الهواء منقوص الفلوجستين (الأكسجين) فإن الناتج هو مجرد ماء. لكن لافوازييه لم ير في ذلك إلا اتحاد عنصرين لتكوين مركب، لم يشر إلى الفلوجستين.

الحرارة والضوء

كان لافوازييه تقريبا على استعداد بهذه النتائج، لصياغة نظريته الجديدة

الموعودة والتي كان يؤمن أنها «ستخصص لعمل ثورة الفيزياء والكيمياء»[5]. لكن إذا تضمنت هذه النظرية شرحا للاحتراق، فإنه كان يعرف أن عليه أن يأخذ في اعتباره تفسير النواتج المدهشة لهذا التفاعل بالذات: الحرارة والضوء. قرر لافوازييه أن يقوم بذلك بالعمل مع زميله الأصغر بيير سيمون: المار كيز دي لابلاس، الذي كان مقدرا له أن يصبح مشهورا في القريب العاجل.

بيير سيمون دي لابلاس

كان لهذين الرجلين اهتمام بالعلوم، كما كانا يشتر كان في إيمانهما بمواهبهما. كان لابلاس يعتبر نفسه أفضل عالم رياضة في فرنسا، ولم يتردد في أن يقول رأيه في أي شيء غير الرياضية تقريبا. وفي حالة لابلاس ولافوازييه، من الصعب القول إن تقديرهما الذاتى لأنفسهما - مع أنه كان مزعجا ـ كان بغير أساس. وعلى عكس لافوازييه، لم يقم لابلاس بالإفصاح عن آرائه السياسية، وربما كان ذلك من حسن حظه.

طور لافوازييه ولابلاس مسعِّرا، وهو جهاز لقياس الحرارة المنطلقة أثناء التنفس والاحتراق. يتكون الجهاز من غرفة محاطة بفراغ مملوء بالثلج، وكانت كمية الماء التي تجمع من الجليد المنصهر تستخدم كمقياس للحرارة المنطلقة في الغرفة الداخلية. ولغرض تحسين القياسات وجعلها أكثر دقة، كان يحاط الجهاز من الخارج بغلاف مملوء بالجليد. وكانت التجارب تتم في الأوقات التي تصبح، فيها درجة الحرارة أعلى قليلا من درجة التجمد. قام لابلاس ولافوازييه بتعيين كمية الحرارة المنطقة أثناء احتراق الفحم وتكوين ثاني أكسيد الكربون باستخدام هذا الجهاز. ثم قام بتعيين كمية الحرارة المتولدة بواسطة أحد خنازير غينيا (حيوان تجارب) أثناء تنفسه، وكذلك قاما بجمع ثاني أكسيد الكربون من الزفير. قارن لابلاس ولافوازييه كمية الحرارة المتولدة من الحيوان بكمية الحرارة المتولدة بالاحتراق والتي تعطي الكمية نفسها من ثاني أكسيد الكربون. وقد حصلا على نتائج دقيقة لدرجة جعلتهما يستنتجان أن التنفس نوع من الاحتراق.

وبالرغم من البحث التجريبي المثير فإن تفسير لافوازييه لطبيعة الضوء والحرارة قد بدأ مفتعلا. كان لابلاس يفضل تفسيرا ميكانيكيا للحرارة،

على أنها حركة جسيمات المادة (كما هي مفهومة اليوم)، لكن لافوازييه كان يصف الحرارة بأنها مادة. أطلق على هذه المادة اسم «سعرى»، أو مادة النار، وصفها بأنها عديمة الوزن (أو من الصعب وزنها) مما جعلها وكأنها ذكرى من ذكريات الفلوجستين. وعلى عكس الفلوجستين، كان لافوازييه قادرا على قياس مادة النار كميا، لم يستطع أن يفصل بوضوح بين الحرارة والضوء، وكان وصفه للضوء غير كمي.

تأملات بشأن الفلوجستين

باشر لافوازييه هجومه الأساسي على نظرية الفلوجستين دون أن يشعر بأي نقاط ضعف خطيرة في نظامه المقترح. وقد قدم مذكرة بعنوان «تأملات بشأن الفلوجستين» إلى الأكاديمية في سنة 1783، وفي هذه المذكرة أعطى لافوازييه ستال حقه ونسب إليه اكتشاف أن التكلس صورة من صور الاحتراق مع ملاحظة أن القابلية للاحتراق يمكن أن تنتقل من جسم إلى آخر. لكنه بعد ذلك بدأ يقلب النظام رأسا على عقب: فالتكلس الذي كان يعد انفصالا (الفلوجستين من الفلز) أكد لافوازييه أنه اتحاد (الأكسجين مع الفلز) والاختزال الذي كان يعد اتحادا (الفلز مع الفلوجستين) جعل منه لافوازييه انفصالا (الأكسجين عن الفلز)، وقال إن الأكسجين ليس مجرد تنوع لعنصر الهواء، لكنه مادة قائمة بذاتها. وليس الفلوجستين مجرد نوع من عنصر النار «الفلوجستين غير موجود»، هكذا نادى لافوازييه.

توصل لافوازييه إلى تعريف حديث للعنصر، غير أنه احتفظ ببعض الأفكار الأرسطية، مثل أن العنصر لابد أن يوجد في كل مكان. وقد كتب:

> لايكفي أن تكون المادة بسيطة وغير قابلة للانقسام، أو على الأقل غير قابلة للتحلل لنسميها عنصرا. فمن الضروري أن تنتشر المادة في الطبيعة وتدخل مكونا أساسا في تركيب عدد كبير من الأجسام[6].

كذلك احتفظ لافوازييه بفكرة أن العنصر يحدد الأداء الوظيفي (وهي امتداد لأفكار أرسطو عن الخواص الأساسية للعناصر). كما كانت تفسيراته للحرارة والضوء في حاجة إلى إيمان ميتافيزيقي لكي نتقبلها. إلا أن إنجازاته كانت كسر الحاجز الأرسطي عن العناصر الأربعة، وإرساء قانون الحفاظ

على الكتلة كقانون واضح وسليم، وتأكيد حاجة أي نظرية كيميائية إلى نتائج التحقق التجريبية لتصبح نظرية سارية. وربما كان ذلك كافيا كإنجاز في حياة شخص واحد.

بدأ عدد من الكيميائيين، من بينهم المشاهير كلود لويس بيرثوليت، ولويس برنارد جيوتون دي مورفيه، وأنطوان فرنسوا فور كروي، في رؤية فائدة نظرية لافوازييه بعد أن استمعوا إلى شرحه وتوضيحه. أصبحت أفكار لافوازييه تعرف كنظرية الكيميائيين الفرنسيين، إلا أن لافوازييه كان يقول «إنها نظريتي»[7].

كلود لويس بيرثوليت

لم تكن الحالة المالية لبيرثوليت على ما يرام مثل لافوازييه على الرغم من أنه ولد في أسرة فرنسية نبيلة. اختار مهمة الطب، ودرس الكيمياء مرتبطة بدراسته للطب. وقد تعرف على دون أورليانز الأرمل ـ ربما تم التعرف بفضل أسرة بيرثوليت ـ والمتقاعد من خدمة الملك، وله شغف بالمسرح والموسيقى. والمركيز دي مونتيسون. وقد أوصى الدوق ببيرثوليت كطبيب خاص لمدام دي مونتيسون. وقد منح هذا الوضع بيرثوليت الدعم الكافي ليتزوج والوقت الكافي لإجراء تجارب كيميائية في معمل الدوق الخاص. أعاد بيرثوليت إجراء تجارب لافوازييه وبريستلي وشيلي، الأمر الذي كفل له أن ينتخب في أكاديمية العلوم. ثم عمل بعد ذلك مع فوركروى ودي مورفيه واللافوازيين (أتباع لافوازييه والمؤمنين بنظريته) على إعلاء شأن نظام لافوازييه الكيميائي الجديد ونشره.

برنارد جيوتون دي مورفيه

أضاف برنارد جيوتون ـ المحامي من أسرة بورجوازية ـ لقب دي مورفيه إلى اسمه ليحدد أملاك الأسرة. وفي أثناء الثورة الفرنسية، وخضوعا للمناخ السياسي، أصبح اسمه جيوتون ـ مورفيه، ثم جيتون، ثم جيوتون ـ مورفيه مرة أخرى. علم نفسه الكيمياء وأسس معملا في منزله. وقد اختار ـ كمشروع شخصي ـ أن يتحقق من أن كل فلز يكتسب وزنا زائدا عند تسخينه في الهواء. لم يقترب أحد من قبل من هذه المشكلة بمثل هذا

الحذر والمنهجية، وكانت أبحاث دي مورفيه تستحق أن تكون كذلك. وقد بنى تفسيراته الأصلية لهذه الظاهرة على أساس مقدرة الفلوجستين على رفع الاشياء إلى الهواء. لكن لافوازييه أقنعهم بأن الزيادة في الوزن يسببها امتصاص جزء من الهواء.

أصبح دي مورفيه محاضرا في الكيمياء في أكاديمية ديجون. ومثل ماري لافوازييه، كان دي مورفيه يملك موهبة في اللغات، وترجم عددا من الكتب والمقالات العملية، وكان يعمل في أثناء ذلك مع زوجة أحد الزملاء في أكاديمية ديجون، وهى كلاودين بيكارديه (تزوج بالسيدة بيكارديه بعد وفاة زوجها). كان ولعه ومنهجه للغات باديا في الإحباط الذي أصابه من التسميات الكيميائيه السارية في ذلك الوقت. كانت أسماء الكيمياويات نادر اما تعبر عن تركيبها أو سلوكها الكيميائي، وفى المقابل كانت هذه الأسماء مبنية على أساس من المظهر (زيت الزاج وزبدة الأنتيمون) أو أساس شخص (ملح جلوبر) أو مكان (ملح إبسوم). اقترح دى مورفيه بعض الإصلاحات، ثم أخذ يعمل جنبا إلى جنب مع بيرثوليت ولافوازييه وفور كروي في تطوير طريقة منهجية للأسماء الكيميائية.

أنطوان فرانسوا فوركروي

كان فور كروي أصغر عضو في مجموعة لافوازييه وزملائه المقربين. وكانت أسرة فور كروي من النبلاء، لكنها أصبحت جزءا من الطبقة العاملة. كان أبوه صيدلانيا، وتوفيت والدته وهو في السابعة. لم يصفه أحد بالذكاء الخارق، لكنه كان جادا فى عمله. وعندما التقى سكرتير الجمعية الطبية الملكية بهذا الشاب الشغوف، استطاع الأخير أن يحصل على منحة لدراسة الطب من الجمعية الطبية. لم يمارس فور كروي الطب مطلقا، لكنه وجد في نفسه مهارة في الكيمياء وفي التدريس، وبدأ في إلقاء المحاضرات في معمل بيكويه الخاص. وفي النهاية صار فور كروي أستاذا في الكيمياء في «جاردان دي روا». وعندما تزوج، استطاع أن يستخدم جزءا من دوطة زوجته في تأسيس معمل خاص حيث كان يقوم بإعطاء الدروس الخصوصية في الكيمياء.

كان فور كروى معلما ممتازا لكن مداخله للبحث كانت تبدو عادية.

فحجم العمل الذي تمكن هذا الكيميائي النشيط من إنجازه عظيم، لكن القليل منه يستحق الإشادة لتفرده وعمقه. وقد اكتسب أهميته لارتباطه ومؤازرته للافوازييه. وجاء ذلك عن طريق عضويته في أكاديمية العلوم. ومع أنه حاول الالتحاق بالأكاديمية في أوائل العقد الثالث من عمره، إلا أنه لم ينجح في ذلك إلا خلال العقد الرابع وعندما قبل عضوا في الأكاديمية، أصبح ـ كما كان متوقعا له ـ واحدا من أكثرهم جدية في عمله.

وإلى جوار المهام التي كلفته بها أكاديمية العلوم، قام فور كروي بتمويل أبحاثه الخاصة، والتي عكست خبرته السابقة في الطب ، ولأنه كان مهتما بالتغيرات التي تحدث للمادة في أثناء التعفن، فقد استفاد من فرصة وجود ألف جثة مستخرجة من مدافن البسطاء ليقوم باختبارها. وقد وصف باحتراس تأثير كل من الحرارة والهواء والماء والكحول والأحماض والقلويات والمذيبات الأخرى في المادة المتحللة. وقد اختبر فور كروي كذلك تأثير حقن الدم الفاسد في جسم الحيوانات (كانت هناك نظرية في ذلك الوقت تقول إن مرض الاسقربوط سببه تعفن الدم في الأوردة)، ولكن حيواناته لم تعش بعد ذلك ليتحقق ما إذا كانت ستمرض بالإسقربوط.وقد ساعده أحد معاونيه، وهو فوكولين (والموضع المناسب لقصته في الفصل القادم، وهو ما فعلناه) بإجراء اختبارات كيميائية على بول أنواع مختلفة من الطيور والأسود والنمور والثعابين.

لم يكن فور كروي سياسيا بالتحديد (مع أن العصر كان يفرض السياسة على الجميع)، لكنه كان يفضل الإصلاحات التي اقترحتها الثورة، وبعد قيام الثورة درس مناهج ثورية (مناهج قصيرة مكثفة في إنتاج النيتر و البارود والمدفعية... إلخ) وقد عاون في كتابة الإرشادات اللازمة للجمهور لإنتاج الأشياء العملية مثل الصابون. كما طور طريقة لفصل النحاس من سبيكة النحاس مع القصدير الخاصة بأجراس الكنائس، وكمثال آخر لتعاونه مع الثورة.

وبالإضافة لقيامه بكم هائل من العمل، كان كذلك كاتبا مسهبا . ومع أنه كان يوصف بالإطناب، إلا أن كتاباته كانت دقيقة ومفهومة. كان يستمع لمحاضراته عدد قليل من النساء (من بينهن ماري رولاند، التي كان مقدرا لها أن تعدم بالمقصلة، وكتب فور كروي بعض الأعمال الموجهة خصيصا

لمستمعيه في هذه المحاضرات. كتب كذلك كتابا عنوانه «عناصر التاريخ الطبيعي والكيمياء» والذي أورد في طبعته الثانية كلا من نظرية الفلوجستين والأكسجين. ولما قدم فور كروي هذه الطبعة الثانية الى أكاديمية العلوم الفرنسية، كان لافوازييه على رأس اللجنة المعينة لإجازته. وقد عُلق نشر الكتاب إلى أن أصبح فور كروي مقتنعا بصحة نظرية لافوازييه، أو ربما لإدراك لافوازييه بأهمية وتأثير مصادقة مثل هذه الشخصية المؤثرة في التعليم الكيميائي الفرنسي. وحدث هذا في الوقت تقريبا نفسه الذي تحولت فيه نظرة بيرثوليت.

التسمية

بذلك انضم الكيميائيون الثلاثة ـ دى مورفيه وبيرثوليت وفور كروي ـ إلى اللافوازيين في ترسيخ نظرية لافوازييه. كانت إحدى الخطوات المهمة في هذا الاتجاه هي اقتراح ونشر نظام جديد للتسمية يتفق مع النظرية. قام النظام الجديد (الذي مازال يستخدم حتى الآن بتسمية المركبات تبعا للعناصر التي تحتوي عليها وتبعا لوظائفها). فمثلا تنتهي أسماء مركبات الفلزات مع اللافلزات بالمقطع «يد» (ide) (مثل أكسيد القصدير)؛ وقد سميت الأحماض بأسماء مكوناتها غير الأكسجينية (مثل حمض الكبريتيك). أما أملاح الأحماض فقد أعطيت أسماؤها نهايات مختلفة لتمييزها عن الأحماض (فمثلا أملاح حمض الكبريتيك أصبحت كبريتات). وقد سميت الأحماض التي لها المكون نفسه غير الأكسجين، لكنها تحتوي على كميات مختلفة من الأكسجين بطرق مختلفة (فمثلاً سُمي الحمض الذي يتكون من الكبريت ونسبة أقل من الأكسجين باسم حمض الكبريتوز، وأصبح ملح هذا الحمض كبريتيت). وقد تضمن متن «التسمية» جداول لعناصر، مثل الأكسجين والنيتروجين والهيدروجين والكربون والكبريت والفوسفور (وقد أورد لافوازييه كذلك الضوء والحرارة إذ كان يعتبرهما عنصرين) وقائمة بالشقوق العضوية، وقائمة بمركبات فلزات الأتربة القلوية والمعادن القلوية.

ولنشر وجهات نظرهم قام كل من لافوازييه وبيرثوليت وفور كروي ودي مورفيه وآخرين بتأسيس مجلة حوليات الكيمياء، ونشر فيها لافوازييه مقالته المهمة رسالة أولية في الكيمياء . وقد أورد فيها 33 عنصرا واقترح المصطلح

غاز (Gas) للمواد التي كان هو والآخرون يسمونها «هواء». وضمنها نظرية عن أن الحرارة والضوء عنصران ـ وهي بالتأكيد أحد جوانب ضعف النظام ـ لكن تفسيره للتكلس والاحتراق والاختزال عن طريق الأكسجين وليس الفلوجستين كان على جانب كبير من الثقة التي منحت النظرية القوة لتصمد.

لم يقتنع كل الكيميائيين في الحال. فقد مات شيلي وهو يؤمن بصدق نظرية الفلوجستين، أما كافندش فكان يعتقد أن تفسيرات لافوازييه مثلها مثل الفلوجستين، وتحول عن الكيمياء ليدرس الفيزياء. وقد كتب بريستلي، ذو المزاج الحاد، دراستين اثنتين من آخر ما نشر مدافعا عن الفلوجستين. لكن أحدث جيل من الكيميائيين كان مقتنعا بشكل عام. قامت إليزابيث فولهام ـ وهي كيميائية من الولايات المتحدة ـ الدولة التي تكونت حديثا ـ بنشر «مقال في الاحتراق» سنة 1794، مقتنعة بتسميات لافوازييه. واحتفل أتباع لافوازييه بشكل درامي، حيث ألبسوا ماري لافوازييه ملابس قسيسة (أو كاهنة) وأخذت تشعل النار على المذبح في كتابات ستال وبيتشر. لكن في ذلك الوقت كانت أشياء كثيرة تحترق. وصدرت «رسالة أولية في الكيمياء» في العام 1789، أول عام في عمر الثورة الفرنسية.

تجمع الزخم الثوري بسرعة، وطلبت ماري أنطوانيت من ملك النمسا التدخل. لكن الخوف من التدخل الأجنبي، مكن الثوريين المتحمسين من التحكم في الجمعية التشريعية. وأحضر المجندون من مرسيليا معهم إلى باريس الأغنية الحماسية «المارسيلزيه»، وقامت الغوغاء من الطبقة العاملة باعتقال وحبس الملك والأسرة الملكية. أما القساوسة العنيدون وأنصار الثورة المضادة فقد أُخرجوا من السجن ليحاكموا ويعدموا. وبدلا من إعمال الدستور وتسريح الجيش كما كان مخططا أصلا، فإن الجمعية الوطنية مددت بقاءها عاما بعد عام، وقد أوكلت سلطتها التنفيذية إلى مجموعة اسمها لجنة الأمن العام. كان دور اللجنة هو مقاومة الفوضى والثورة المضادة حتى تتركز موارد الأمة من أجل الحرب العالمية. وقد باشرت اللجنة عملها بشكل حماسي لدرجة أن هذه الفترة أصبحت تعرف بـ «عهد الإرهاب».

كانت أكاديمية العلوم في هذه المرحلة من الثورة ينظر إليها كمعقل للنخبة المفضلة. والأكثر من ذلك، كان لافوازييه مستهدفا بشكل خاص من جانب المتشددين، من مثل ماكسميليان روبسبير وجين مارات، لأنه كان

عضوا في شركة لجمع الضرائب. وكان جين مارات قد تعرض للرفض عند تقدمه للالتحاق بأكاديمية العلوم، ولم يلق ما نشره عن النار إلا الإهانة والانتقاص من جانب لافوازييه. وعلى الرغم من أن لافوازييه كان عضواً في اللجنة المهمة للموازين والمقاييس، والتي تكونت لإرساء قواعد النظام المتري (من أهداف الثورة المعلنة) وأنه طور جودة البارود المستخدم بواسطة المسلحين الثوريين، إلا أنه اعتُقل وسجن. غير أن تاجر أدوية مغمورا ، اسمه بلوفينيه، كان يبيع بعض الكيماويات إلى لافوزابيه، قام بإقناع المدعي العام بالموافقة على نقل لافوازييه إلى سجن أفضل لو قامت ماري لافوازييه شخصيا بتقديم طلب بذلك. ذهبت فعلا ماري لافوازييه في الموعد، لكنها مثل زوجها تماماً كان كل شيء فيها متغطرسا، لم تقم بالتوسل والدفاع، بل استغلت المناسبة لتكيل السباب والشتائم إلى من اعتقلوا زوجها. لم ينتقل لافوازييه إلى سجن افضل، وفي صباح الثامن من مايو 1794، تمت محاكمته، وفي وقت لاحق من اليوم نفسه، أعدم بالمقصلة مع حماه.

استمر الجدل التاريخي كثيرا حول أسباب عدم تقدم مساعدي لافوازييه، فور كروي، ودي مورفيه، للدفاع عنه، على الرغم من أنهما من القيادات محل الاحترام في الحركة الثورية. وفيما يبدو، هناك بعض الأدلة على أنه قبل يوم أو يومين من الإعدام توجه فور كروي إلى اجتماع للجنة الأمن العام، وتحدث مدافعا عن لافوازييه. وقد أكد لازار كارنو (الذي كان ابنه ضليعا في هذه الحادثة) واقعة أن دفاع فور كروي قوبل بصمت مطبق من جانب روبسبير. ولا بد أن فور كروي أيقن أن يديه مغلولتان ـ بالمعنى المجازي ـ وإذا ما استمر في احتجاجه، فإن يديه قد تصفدان في الأغلال بالفعل[8].

عانى لافوازييه أسوأ معاناة دون الجمع المحيط به. فها هو فور كروي الذي كان يتفلسف في تأييده للثورة أصبح من المؤيدين المتحمسين لها بعد اغتيال مارات. وقد صمد في أثناء الإرهاب، وشارك في حكم نابليون. كان متيما لفترة طويلة بإحدى بنات عمه التي كانت متزوجة. ولما مات عنها زوجها، طلق فور كروي زوجته وتزوج ابنة العم الأرملة. وقد استقر به المقام منذ 1800 في متحف التاريخ الطبيعي هو ومعاونه فو كولين، حيث أمضيا سنوات وسنوات مثمرة في جمع البيانات.

كان فور كروي محبطا للغاية نتيجة عدم تحقيقه لطموحاته بالحصول على اللقب الأكاديمي الذي كان يرغب فيه (قرار مبني على أسس سياسية أكثر منها مؤهلات) ولذا فقد اعتلت صحته ومات عن عمر يقارب 54 عاما، على الأرجح، من سكتة دماغية. ظل دي مورفيه ثوريا نشطا وصوت في صف إعدام لويس السادس عشر. وفي الحقيقة خدم دي مورفيه كأول رئيس للجنة الأمن العام، لكنه ـ تبعا لبعض المقاييس ـ كان معتدلا للغاية، لذا استُبدل بآخر. وربما لأنه كان خارج البلاد مشتركا في الحرب ضد النمسا وبين وقت محاكمة لافوازييه، (عاون دي مورفيه في تنظيم أول قوة جوية عسكرية على شكل مناطيد استكشاف تحمل طاقما) لم يعرف باعتقال لافوازييه إلا في وقت متأخر جدا، وحتى إذا كان قد عرف فلربما لم يتمكن لضيق الوقت ـ من العودة لدفع ذلك. استمرت سيرته وتقدمه العلمي في نجاح مطرد مثل فور كروي. بعد انتهاء فترة الإرهاب، عمل دي مورفيه مع نابليون. وعُين في أثناء حكمه رئيسا لدور سك النقود ولم يتقاعد إلا بعد «ووترلو». وحتى عندما عادت الملكة البوربونية ونفي كل من شارك في إعدام لويس السادس عشر، فإن دي مورفيه قد سُمح له بالبقاء في فرنسا حيث توفي بعد ستة أشهر من ذلك.

كان مقدرا لآخر أتباع لافوازييه، وأكثرهم وفاء، ماري لافوازييه، أن تعيش بعد زوجها 42 عاما حتى بلغت 80 عاما تقريبا. ومع أنها قد اعتقلت في أثناء الإرهاب، إلا أن ذلك لم يدم إلا فترة قصيرة، وأعيد لها معظم ممتلكات الأسرة المصادرة بعد إعدام زوجها. وقد قامت بجمع ونشر أعماله العلمية بعد قليل من وفاته، يعاونها في ذلك أرماند سيجوين، الذي كان مساعدا للافوازييه قبل وفاته. لم يدم التعاون بين سيجوين وماري لافوازييه طويلا، فقد تردد سيجوين في توقيع وثيقة تشجب جلادي لافوزاييه الذين كانوا لا يزالون ذوي حيثية سياسية، وكان يعتقد أنه يستحق التقدير على أعمال قام بها، ولم تر ماري لافواز ييه أنه يستحق ذلك، على الرغم من أن أحدا لم يشك في أن سيجوين قد منح الكثير من ذاته لأبحاثه(تضمنت بعض تجارب لافوزاييه على التنفس إدخال سيجوين في كيس حريري مدهون بالورنيش ووضع قناع من النحاس الأصفر على وجهه ليتمكن من تنفس الأكسجين من مستودع له وإخراج هواء الزفير وحده ليتمكن لافوازييه

من جمعه)، غير أن هناك بعض التساؤلات حول كم مشاركته في مناقشة النتائج.

تزوجت ماري لافوازييه ثانية بعد حوالى 15 سنوات من موت زوجها، وكان اسم زوجها الجديد، الكونت رمفورد، يظهر بارزا في تاريخ الكيمياء في القرن التاسع عشر. غير أن الزواج لم يكن سعيدا. تقول إحدى الروايات إنها طردت زوجها من بيتهما، بينما تروي قصة أخرى أنها قامت بإلقاء الماء المغلي على زهوره المفضلة. وقد أصرت ماري على الاحتفاظ باسم لافوازييه، فأسمت نفسها الكونتيسة لافوازييه رمفورد. ويروى عنها أنها ازدادت غطرسة مع الزمن. ولم يدم زواجها سوى أربع سنوات.

ولكن كل شيء يتغير مع الزمن، بما في ذلك الثورات. لقي روبسبير حتفه تحت المقصلة. وقرر الضابط الشاب نابليون أن الصراع من أجل الحرية يمكن أن يعضده التجنيد الإجباري والحرب الوطنية والديكتاتورية الدائمة واضعا نفسه على رأسها. ولكن، ومع أنه قد تم تشويهها في النهاية، إلا أن الثورة الفرنسية قد هزت أسس الملكيات الوطنية، وتركت أوروبا لاتشبه أوروبا قبل الثورة بالمرة، تماما كما حطمت ثورة لافوازييه القبضة الخانقة لأرسطو على الفكر الأوروبي، بحيث أصبحت الكيمياء لا تشبه الكيمياء قبل ذلك بالمرة. وقد أنجز لافوازييه هذه المأثرة ليس فقط لأنه خارق الذكاء، بل لأنه كان نتاج عصره كذلك. فلو جاء في عصر أقل ثورية لما كان قد شعر بالحاجة إلى مهاجمة الفرضيات التقليدية كما فعل.

قد يكون النجاح الذي لاقاه لافوازييه راجعا إلى شيء حاذق آخر، فلافوازييه لم يكن رجلا متواضعا: كان في بعض الأوقات متغطرسا بشكل مزعج، حيث إنه ولد في طبقة ذات امتيازات وثرية لدرجة الاستقلالية، واقترن بزوجة جميلة ومحبة. لذلك لم تحفل حياته بالكثير الذي يجعله غير ذلك. ربما كان ذلك مصدرا لقوته، ربما نجح لافوازييه لأنه كان متغطرساً بما يكفي ليناطح بأفكاره أرسطو.

لكن أفكار أرسطو كانت قد أدت الغرض منها كنقطة بداية للنظريات الكيميائية، وكنظرية مبكرة للكيمياء على أساس الملاحظة والتجريب، كما قدم الفلوجستين خدماته أيضا للكيمياء. فقد زودنا بإطار نظرى لتفسير النتائج التجريبية. وفيما يبدو كانت له بعض المقدرات التنبؤية (الشاهد

على ذلك استنتاج شيلي عن هواء النار الذي عزله فيما بعد). وفي الواقع، كانت المشكلة أنه قام بالعمل بشكل أفضل من اللازم؛ فقد ضبب التأويلات، وحشد تفسيرات بديلة. ولم يكن لافوازييه هو أول من يتحدى الفلوجستين، ولا أول من افترض الحفاظ على الكتلة، ولا أول من اكتشف الأكسجين، لكنه كان يملك من نفاذ البصيرة ما جعله يؤمن باستخدام الأكسجين لإلحاق الهزيمة بالفلوجستين بقوة ونهائيا. وبمجرد اكتشاف هذا الشرخ في البنيان الأرسطى تفسخ البنيان بسرعة وبدأ التقدم النظري. بدأ الجيل التالي من الكيميائيين في اكتشاف العناصر الجديدة بمعدلات مذهلة. وبصعوبة كان هذا الجيل يلقي نظرة عابرة خلفه على أول أربعة عناصر مشهورة: الأرض والماء والهواء والنار.

9 حوالى ١٨٠٠ ـ ١٨٤٨
بعد الطوفان

- قانون النسب الثابتة
- النظرية الذرية وقانون النسب المتضاعفة
- الكهرباء
- النظرية المزدوجة للميل الكيميائي

يقال إن لويس الخامس عشر، الذي حكم قبل الثورة الفرنسية مباشرة، كان يعلق بقوله:

«بعدي الطوفان» «Apré moi le déluge». أما في تاريخ الكيمياء فيمكن أن تقول: «بعد الطوفان، الطوفان». فبعد ثورة لافوازييه الكيميائية والثورة السياسية الفرنسية ارتفع عدد الاكتشافات الكيميائية ـ العناصر الجديدة والقوانين التي تصف تفاعلاتها ـ بصورة درامية. كانت الثورة الفرنسية عقبة في طريق أكاديمية العلوم الفرنسية، لكن الثورة لم تفعل الكثير لإعاقة نمو الجمعيات العلمية عامة. انطلقت هذه الجمعيات خلال القرن التاسع عشر في كل من إنجلترا وفرنسا وبروسيا والسويد وإيطاليا وروسيا وإسبانيا والمكسيك، وفي الولايات المتحدة التي اتحدت حديثا. وقد اعتُرِف بأكاديمية العلوم الفرنسية كجزء من البنية التعليمية الفرنسية واستعادت قوتها السابقة. وإذا كانت الثورة الفرنسية قد قضت على حياة لافوازييه، فإنها لم تتدخل كثيرا لإعاقة العلوم في فرنسا. وفي الحقيقة، شجعت الثورة الكيمياء بشكل غير متوقع، وذلك

بتأييدها للنجاح الذي أحرزه راع جديد للعلوم وهو إنسان قصير شديد المراس معتل المزاج من جنرالات الجيش كان يغش في ورق اللعب، اسمه نابليون بونابرت.

نابليون

كانت هناك رغبة عامة في فرنسا في بداية القرن التاسع عشر في أن يعم السلام والسكينة. ولأن شجيرة الحكومة الفرنسية، وكانت في يد مجلس المديرين (حكومة المديرين)، كانت تناضل لترسيخ جذورها، فقد اعتمدت بشدة على نابليون للدفاع عنها. وحيث إن بونابرت كان محنكا في هذا الدفاع حتى أن جيشه كان يعتمد على نفسه في الإعاشة والتمويل، فإنه كان يتصرف باستقلالية بشكل أو بآخر، وعندما أمرته حكومة المديرين بغزو إنجلترا، قرر أن يقطع طريق التجارة الإنجليزية في البحر الأبيض المتوسط، وذلك بغزو مصر بدلا من إنجلترا. ولحسن الحظ من وجهة نظرنا، أنه قرر أن يصطحب معه مجموعة من العلماء، حيث اكتشف هؤلاء العلماء حجر رشيد في مجال المصريات. أما في مجال الكيمياء، فقد ظهرت أولى بوادر ما سيطلق عليه فيما بعد قانون فعل الكتلة.

بيرثوليت وبونابرت وبدايات قانون فعل الكتلة

كان بيرثوليت أحد العلماء الذين صاحبوا نابليون إلى مصر، وهو من معاصري لافوازييه ومعاونيه، وقد حانت الفرصة لبيرثوليت في مصر لدراسة البحيرات الملحية الداخلية، التي كانت تملك قشرة من كربونات الصوديوم تحيط بحوافها. كانت «كربونات الصوديوم» تعرف قديما باسم النطرون، وتستخدم (ضمن أشياء أخرى) في التحنيط. تكونت كربونات الصوديوم ببطء من تفاعل كلوريد الصوديوم الموجود في البحيرات الملحية مع الحجر الجيرى (كربونات الكالسيوم) الموجود على شواطئها وفي القاع، يتفاعلان لينتج عنهما كلوريد الكالسيوم وكربونات الصوديوم. وكان التفاعل الوحيد التلقائي الذي شاهده بيرثوليت في معمله هو التفاعل العكسي: يتفاعل محلول كلوريد الكالسيوم مع محلول كربونات الصوديوم لينتج كربونات الكالسيوم على شكل راسب لا يذوب. تيقن بيرثوليت ـ وكان على صواب ـ

أن وجود وفرة كبيرة من كلوريد الصوديوم في مياه بحيرة النطرون هو المسؤول عن التفاعل العكسي.

لنتأمل المفاعلات الكيميائية النوعية (أ، ب، ج، د). إن التفاعلات الكيميائية ليست بسيطة، كأن يتفاعل أ مع ب ليكوّنا ج،د، لكن أ، ب عندما يتلامسان يكوّنان ج، د وتستمر الحال كذلك إلى أن تصل المتفاعلات والنواتج إلى اتزان ـ أي النقطة التي عندها لا تتغير كميات المواد، وعند الاتزان تتواجد كميات من ج، د لكن يتواجد معها كذلك كميات من أ، ب، ويحدث ذلك لأن التفاعلات الكيميائية انعكاسية: فإذا كان في مقدور أ، ب أن يتفاعلا لينتجا ج، د فإن ج، د يمكن أن يتفاعلا لينتجا أ، ب. وكان بيرثوليت قد شاهد في معمله أ، ب يتفاعلان لينتجا ج، د في الكأس. أما على ضفاف بحيرة النطرون فقد كان هناك الكثير من ج، د (بالنسبة لـ أ، ب) حتى أن أ، ب كانا يتكونان. كان التفاعل يستمر في الاتجاه المضاد.

مكث بيرثوليت في مصر عامين يكتب عن الظاهرة التي لاحظها والتي أصبحت بعد 50 سنة معروفة باسم قانون فعل الكتلة. كانت الحكومة الفرنسية في ورطة مرة أخرى، مما اضطر راعي بيرثوليت إلى مغادرة مصر. ومع أن نابليون كان قد نجح في معاركه البرية ضد المصريين والأتراك العثمانيين، إلا أنه لم يهزم البريطانيين في البحر. وكان عليه أن يتسرب من خلال الحصار البحري ليعود إلى بلاده. وقد وجد لدى وصوله إلى باريس أن حكومة المديرين تعاني من الفساد والرشوة والاستغلال، بينما يعاني الشارع في باريس من المجاعة والغلاء. قرر أحد المديرين أن الحل يكمن في الإطاحة بحكومة المديرين، وأن نابليون (هذا البطل العسكري المشهور) يمكن أن يساعده في ذلك. نجح الانقلاب، وقامت حكومة جديدة مع منح السلطات ظاهريا لكيان مكون من ثلاثة قناصل، وأصبح بونابرت قنصلا، ثم صار أقوى القناصل، وتلا ذلك أن أصبح قنصلا مدى الحياة. وأخيرا، وفي سنة 1804، أصبح اسمه نابليون الأول إمبراطور فرنسا وملك إيطاليا وحامي كونفدرالية الراين.

يمكن اعتبار نابليون طاغية مستنيرا. قام بتجفيف المستنقعات وتوسيع الموانئ وإقامة الجسور وطور القوانين النابليونية، وقد جعل استخدام النظام المتري إجباريا (ومن يستخدم أي نظام آخر يعرض نفسه للعقاب الجنائي)،

و أعاد النظر أخيرا في نظام الضرائب فجعله متناسقا وفعالا. استمر في إصلاح التعليم الذي بدأته الجمعية الوطنية مبكرا أثناء الثورة، وقد أسس مدارس ثانوية محلية، وكذلك مدارس عسكرية وفنية وجامعة وطنية. عضد نابليون الـ «إيكول بولي تكنيك»، التي أصبحت نموذجا للتدريب العلمي والهندسي، وسرعان ما أصبح طلابها وأساتذتها يضمون الصفوة الفرنسية.

ولدى عودة بيرثوليت إلى فرنسا ضمه نابليون إلى عضوية مجلس الشيوخ الذي تأسس حديثا. وكان الغرض من مجلس الشيوخ هو حماية الدستور، لكن في ظل الدكتاتورية فإن هذه المهمة خفيفة، فاستغل بيرثوليت مرتبه من هذا المنصب في شراء بيت ريفي خارج باريس في اركويل، وجعل منه مركزا للعمل والمناقشات بين الكيميائيين الجدد في فرنسا.

أنجز بيرثوليت برنامجا تجريبيا مستفيضا لاختبار فروضه حول تأثير الكتل النسبية للمتفاعلات والنواتج في تحديد اتجاه التفاعل. استخدم لذلك مخاليط بنسب مختلفة، وجعلها تتفاعل تحت ظروف متنوعة، وقام بتحليل النواتج. ووجد أدلة وافرة على انعكاسية التفاعلات. لكنه ـ وللأسف ـ خرج باستنتاج آخر خاطئ، فلأن المحاليل يمكن أن تتكون من تركيزات مختلفة، اعتقد بيرثوليت أن النواتج يمكن أن يكون لها تركيب مختلف. فمثلا، قد يتكون كلوريد الصوديوم من جزء واحد من الصوديوم مع جزء واحد من الكلور، أو جزأين من الصوديوم مع ثلاثة أجزاء من الكلور، أو بأي كسور بين ذلك. لم يكن ذلك غير منطقي في غيبة نظرية ذرية. بنى بيرثوليت استنتاجاته جزئيا على التحليل غير الدقيق للنواتج غير النقية التي أعطته نتائج مختلفة، وجزئيا على تحليل الأملاح التي تتبلر محتوية على كميات مختلفة من الماء. كان الكيميائيون في هذا الوقت ينشرون على أوسع نطاق تحاليل متعارضة لمركبات من المفروض أنها واحدة. لذلك فإن استنتاج بيرثوليت: «أن المواد يمكن أن تتحد تقريبا بأي نسبة»، مسألة منطقية.

وعندما أثيرت أمامه التحديات لنظريته، كان يجيب بالدبلوماسية البيرثوليتية المعروفة. فقد كان بيرثوليت هو من تمكن من البقاء مع لافوازييه ونابليون ودوق أورليانز. كان من المنطقي أن يرى بيرثوليت أن التفاعلات الكيميائية يمكن أن تحيّد تحت تأثير القوى الخارجية ـ فتاريخه الشخصي

قد تطلب منه انحناءات كبيرة مع الريح. لم يكن توافقه نتيجة لمناورة، لكنه كان نابعا من حب حقيقي وعرفان للإنسانية كما يتضح من الرواية الآتية عن مسحوق بيرثوليت للتبييض.

كان حب الألوان والزينة الشخصية قويا في عصر بيرثوليت، كما كان قويا دائما. وكانت طلبات صباغة النسيج لا يقدر عليها إلا من يستطيع أن يدفع ثمنها. فقبل صباغة النسيج كان لابد من تبييضه، الأمر الذي يستلزم فرد النسيج على الأرض، ولم يكن هذا العمل مرهقا فقط، ولكنه كان يستبقي الحقول الجيدة دون حرث. وقد طور بيرثوليت عملية تبييض كيميائية يستخدم فيها الكلور الممتص في محلول هيدرو كسيد الصوديوم ـ وهو في الأساس المحلول المبيض نفسه الذي يباع في السوبر ماركت اليوم ـ ونشر هذه التقنية، على الفور، من دون أن يسجل براءة اختراعها، وذلك حتى يمكن استخدامها دون إبطاء. وقد اكتشف كذلك أن كلورات البوتاسيوم تنتج مسحوقا متفجرا أشد من نترات البوتاسيوم (البارود)، لكن عندما انتهت إحدى التظاهرات الشعبية بسقوط القتلى، لم يكمل بيرثوليت هذا المشروع.

لكن نابليون، في ذلك الحين، لم يكن يحتاج إلى معونة في إطلاق النار، فقد جعل لافوازييه البارود الفرنسي أفضل بارود في أوروبا، وكان نابليون يملك جيشا ممتازا، وقد هزم النمساويين. ثم طلق (نابليون) زوجته (جوزيفين) وتزوج ماري لوي ابنة إمبراطور النمسا. أجبر إسبانيا على التخلي عن لويزيانا لفرنسا، وهزم البروسيين واستولى على برلين وكون اتحاد الراين الكونفدرالي، موصلا بذلك الإمبراطورية الرومانية المقدسة إلى نهايتها. ظلت إنجلترا مع ذلك بعيدة عن مناله. ولم ترتبط أوروبا بقوة الرباط النابليوني. تصاعد الشعور القومي. وفي كل بلد كان هناك من يؤيدون أهداف الثورة الفرنسية، لكن حتى هؤلاء لم يفضلوا أن يكونوا من رعايا الإمبراطورية الفرنسية.

ثارت كل من بروسيا والنمسا مرارا وكانت بريطانيا جاهزة لمساعدة أعداء نابليون. وعندما ثارت إسبانيا، شعر نابليون أنه مضطر لسحق الثورة بلا رحمة، معاديا أحد الكيميائيين الذين يُفترض أنهم معه. لكن هذا الكيميائي لم يكن ممّن يقفون في الصف. لقد كان الرجل نفسه الذي

تحدى بيرثوليت الشهير، إنه جوزيف لويس بروست.

قانون النسب الثابتة

جوزيف لويس بروست

ولد جوزيف لويس بروست في فرنسا وكان الابن الثاني لصيدلاني. (وقد رأينا، وسنرى بعد ذلك، أن الصيدلانيين ينتجون الكيماويات الدقيقة). عمل بروست في الأصل صبيا مساعدا لوالده. وعندما بلغ العشرين من عمره انتقل رغم معارضة والده إلى باريس. واصل دراسته للكيمياء والفيزياء وشارك في بعض التجارب الأولى على البالون المأهول. وأخيرا وجد وظيفة مدرس ثابتة في إسبانيا على الرغم مما كان يذكر عنه أنه مدرس غير مكترث. تزوج من امرأة إسبانية من أصل فرنسي، وتلقى عرضا برئاسة معمل كيميائي مجهز أحسن تجهيز في مدريد فاستقر.

وبعد تجارب عدة حسّن فيها تقنيات التحليل، أصبح بروست مقتنعا بأن كل مركب كيميائي له تركيب وزني ثابت غير قابل للتغير، أي أن لكل مركب صيغة. وفي الوقت الذي رأي فيه بيرثوليت متوسطا مضببا (يماثل الإحصائية الشهيرة أن لكل أسرة 6, 2 طفل) فإن بروست وجد أن طفله الكيميائي لايمكن أن ينقسم إلى كسور. وقد عُرفت أخيرا هذه الملاحظات تحت اسم قانون النسب الثابتة. وقد نالت أفضل صياغة بكلمات بروست:

المركب هو مادة حددت لها الطبيعة نسبا ثابتة... الطبيعة لا تخلق أبدا سوى الاتزان في اليد ... وبين القطب والقطب... ولم تُلاحَظ بعد اختلافات بين أكاسيد الحديد التي من الجنوب وتلك التي من الشمال. وتركيب الزنجفار (كبريتيد الزئبقيك الأحمر) هو نفسه في اليابان كما في المادين. ولا تتأكسد الفضة بشكل مختلف (في كلوريد) في بيرو عن تلك التي في سيبيريا[1].

ومع أن بيرثوليت لم يسحب نظريته، إلا أن الجدل كان مستمرا بشكل مهذب، وفي النهاية كانت الغلبة للأدلة التجريبية التي جاءت في جانب بروست، أُرسي قانون فيزيائي مهم. (وكمثال على سخرية التاريخ، مع ذلك، فإننا نلاحظ أن بعض المركبات التي حُللت بواسطة بروست لتعضيد قانون النسب الثابتة ـ بعض أكاسيد وكبريتيدات الفلزات ـ لها بالفعل تركيب متغير في حدود ضيقة). وتسمى هذه المركبات في علم المواد الحديث وفي الكيمياء غير العضوية باسم «بيرثوليدات» (وسنرى لاحقا مثالا مثيرا).

لكن في القرن التاسع عشر، ضعفت الثقة بفكرة بيرثوليت عن التركيب المتغير، ومعها بالمرة أُضعِفت الثقة بأفكاره عن البحيرات الملحية في مصر، وهو السبب الذي من أجله استغرق قانون فعل الكتلة خمسين سنة ليطفو على السطح ثانية.

لم تكن الظروف كريمة مع بروست فيما بعد. توقفت أبحاثه عندما دخلت القوات الفرنسية مدريد وأزالت معمله في موجة الدمار التي حلت بالمدينة. وفي ذلك الوقت، أصبح نظام الغذاء الأوروبي يعتمد على السكر المكرر الذي يأتي من العالم الجديد. وقد قطعت خطوط إمداد نابليون بواسطة الحصار البحري البريطاني. حاول نابليون أن يستخدم خبرة بروست ومهارته للوصول إلى مصدر آخر. لكن بروست رفض عرض نابليون ـ مع أنه كان قد انحدر إلى حافة الفقر ـ بأن يترأس إنتاج سكر العنب، وهي المادة التي كان بروست قد اكتشفها في عصير العنب.

كان نابليون قادرا على استخدام كيميائيين فرنسيين آخرين لتكرير إنتاج السكر من البنجر، لكن السكر وحده لم يكن يقدر على إنقاذه. فقد التقت عبقرية نابليون العسكرية نِدّا لها عندما قرر أن يغزو روسيا. قام القيصر ألكسندر بإغواء الجيش الفرنسي حتى ضواحي موسكو، وأحرق الإمدادات وأماكن الإيواء ثم ترك الشتاء الروسي يقوم بعمله بعد ذلك. هبطت سمعة نابليون بشدة واستعادت أسرة البوربون نفوذها، لكن تأثير الثورة ظل باقيا. اعترفت الملكية بمجموعة القوانين الجديدة ولم تحاول استرجاع نظام الإقطاع والميزات. ودوليا تركت الثورة ميراثا من التناحر القومي المر كان محسوسا بين البريطانيين والفرنسيين بخاصة. كان هذا التناحر يتعقد عند كل منحنى. كان جون دالتون ـ الذي أكمل قانون بروست عن النسب الثابتة بوضع النظرية الذرية المنهجة ـ ذا بصيرة نافذة وقادرا على حل المشاكل الكيميائية، لكن النزعة القومية قد غطت كذلك على حلوله أحيانا.

النظرية الذرية وقانون النسب المتضاعفة

جون دالتون

جون دالتون هو الابن الثاني لنساج متواضع من منطقة البحيرات في

إنجلترا. كانت مساهمته في الكيمياء هي إعادة صياغة نظرية ذرية منهجية مبنية على عناصر لافوازييه. و«إعادة صياغة» هنا جاءت لأن مفهوم الذرات لم يكن بالقطع جديدا: فقد افترض أنبادقليس وجود الذرات في الفلسفة اليونانية السابقة على أرسطو. كما أن ديكارت وهوك افترضا وجود الذرات. وفي عام 1738، استنتج دانيال بيرنولي بدقة قانون بويل مفترضا أن الغازات تتكون من تجمعات لجسيمات تتصادم باستمرار مع جدران الإناء الذي يحتويها. لم يقترح دالتون الذرات كشيء تجريدي، أو طريقة رياضية، بل إن ذرات دالتون كانت فيزيائية، لها كتلة خاصة (الوزن الذري)، واتحادها مع بعضها البعض بنسب ثابتة يعطي كل التنوع من المركبات الكيميائية.

وقد اقترح جيريمياس بنيامين ريختر (كيميائي متخصص في البورسيلين، مات متأثرا بالسل في سن 45)، سابقا في ذلك دالتون، أن العمليات الكيميائية تقوم على قوانين رياضية، وصك التعبير «الحساب الكيميائي»، ليشرح النسب الوزنية للعناصر الكيميائية في التفاعلات. وقد أسس دالتون نظرته الثاقبة تجريبيا بمقارنة نسب أوزان العناصر في المركبات، وفيما بين المركبات.

وحتى نفهم كيف أوصلت هذه القياسات دالتون إلى نظريته الذرية، لنتخيل صندوقا من الذرات المغطاة: الذرات الخضراء مغطاة بخطاطيف، أما الذرات الحمراء فمغطاة بحلقات. ويمكن للذرات الخضراء أن تتحد مع الحمراء فقط، وأحيانا تتحد ذرة واحدة حمراء مع ذرتين خضراوين أو تتحد ذرتان حمراوان مع ذرة واحدة خضراء، وهكذا. فإذا أخذنا عينة من 2 أحمر ـ1 أخضر وحللناها، فإن وزن الأحمر إلى وزن الأخضر سيكون 2:1. ولا تثبت هذه المعلومات وحدها أن المادة مصنوعة من ذرات مستقلة. لكن إذا أخذنا عينة من 2 أخضر ـ1 أحمر وحللناها، وقارنا كتلة الأحمر بكتلة الأحمر في العينة السابقة، فإن حقيقة أن هذه النسبة أيضا ستكون نسبة أعداد صحيحة (1 إلى 2) تشير إلى أن الأحمر لابد أن يكون على شكل وحدات منفصلة. هذه هي المقارنة التي أجراها دالتون في المركبات الكيميائية.

يكوِّن الكربون والأكسجين أول أكسيد الكربون (ذرة واحدة كربون مع ذرة أكسجين واحدة) أو ثاني أكسيد الكربون (ذرة كربون واحدة مع ذرتين من

الأكسجين). وعندما قام دالتون بمقارنة كتلة الكربون وكتلة الأكسجين بين أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون وجد أنها نسبة أعداد صحيحة بسيطة. قارن أول أكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد النيتروجين، ووجد الشيء نفسه. وأصبح أول دليل مباشر على وجود الذرات معروفا باسم قانون النسب المتضاعفة. وقد لاحظ دالتون أن «عنصر الأكسجين قد يتحد مع جزء معين من غاز النيتروز أو مع ضعف هذا الجزء، لكن لا يتحد بكميات وسط بينهما»[2].

توصل دالتون إلى مقياس للأوزان الذرية. اختار وزن الهيدروجين ليكون 1 اعتباطيا. وبناء على اعتقاد بإن الذرات المتشابهة تتنافر مع بعضها البعض، فقد افترض أن أكثر المركبات ثباتا لعنصرين لابد أن تحتوي على ذرة واحدة فقط من كل عصر. ولأن الماء كان المركب الوحيد المعروف للهيدروجين مع الأكسجين في عصر دالتون فإن دالتون كان يؤمن بأن صيغة الماء هي HO (نحن نعرف أنها H_2O اليوم). وجد لافوازييه أن نسبة كتلة الأكسجين إلى الهيدروجين في الماء هي 17 إلى 3 (واليوم نحن نعرف أنها 16 :2)، لذلك فإن دالتون قد حدد الوزن الذري للأكسجين بأنه 17 مقسومة على 3 أو 5,5 (واليوم نحن نعرف أن للأكسجين كتلة 16 مقارنة بوزن الهيدروجين1).

وعلى الرغم من الأساس القائم على افتراضات تحتمل الشك، والنتائج الأولية الخاطئة، إلا أن نظرية دالتون كانت تقدما مفاجئا ومطلوبا في ذلك الحين. فقد مكنت الكيميائيين لأول مرة من تفسير العلاقات الوزنية بشكل منطقي. وقد نشر اكتشافاته سنة 1808 في كتابه المسمى «النظام الجديد لفلسفة الكيمياء»، وكان عمره 42 سنة.

ومع أن ذرات دالتون قد ساعدت في تفسير الكثير من الملاحظات، مثل ميل المواد للاتحاد بنسب عددية صحيحة وبسيطة، إلا أن النظرية الذرية قد دفعت إلى الأمام بمزيد من الأسئلة، مثل طبيعة القوى التي تمسك الذرات ببعضها البعض: المفهوم الضبابي للميل الكيميائي. اهتم بهذا السؤال الكيميائي السويدي جانس جاكوب برزيليوس، الذي استخدم عنصرا جديدا من التوابل الموجودة على رف الكيميائيين: الكهرباء.

الكهرباء

لم تكن الكهرباء، مثلها في ذلك مثل النظرية الذرية، بالشيء الجديد.

كان الإغريق يعرفون كيف يولدون الكهرباء الاستاتيكية وذلك بتدليك الكهرمان بالصوف (كلمة electricity مشتقة من elektron، وهي الكلمة الإغريقية التي تعني كهرمان). وقد قام أوتو فون جويريك ـ الذي اشتهر بمضخة الهواء ـ بصنع آلة لتوليد شحنة كهربية عالية الجهد في القرن السادس عشر. وقد اخترع بيتر فان موسيشنبروك من ليدن «وعاء ليدن» لتخزين الشحنة الإستاتيكية في العام 1745، بعد أن توصل لهذه الطريقة بالمصادفة، عندما كان يحاول تخزين شحنة كهربية في قارورة زجاجية فارغة. ودون أن يعرف، كان قد تراكم على سطح القارورة شحنة كهربية عظيمة، اكتشفها عندما لمس القارورة: «لقد تأثر الذراع والجسم بطريقة فظيعة لا أستطيع وصفها، وفي كلمة واحدة لقد أيقنت أن نهايتى قد حانت»[3]. وقد أجرى بنيامين فرانكلين في الخمسينيات من القرن الثامن عشر تجربته الشهيرة بطائرة الورق التي جمع بها شحنة كهربية من سحابة رعدية في وعاء ليدن. وقد كان محظوظا لنجاته من هذه التجربة، فآخرون لم ينجوا عندما أعادوا هذه التجربة.

أجرى فرانكلين تجارب عدة ملهمة بواسطة وعاء ليدن، لكن هذه التجارب كانت محدودة لأن وعاء ليدن كان يعطي نخعة (أو رجة) واحدة فقط من الكهرباء كل مرة. أما دراسة الظاهرة التي يسببها سريان الشحنة المستمر فقد أشعلها اختراع الساندرو جوسيبو أنتونيو أناستاسيو فولتا.

أليساندرو فولتا

كان أبو فولتا يسوعيا لمدة 11 عاما، لكنه ترك السلك الكنسي وتزوج عندما أدرك أن العائلة سينقطع تاريخها إذا لم يفعل ذلك. أنتج زواجه ثلاث راهبات، وثلاثة ذكور، التحق جميعهم بالكنيسة، غير أن فولتا تراجع وانسحب من الكلية اليسوعية المحلية عندما حاول أستاذ الفلسفة أن يجنده ضمن اليسوعيين برشوته بالشيكولاتة والحلوى والاتصال السري به. وربما لم يكن فولتا لينجح كيسوعي على أي حال، لأنه كان رجلا «يفهم الكثير في كهرباء النساء»[4]، وقد استمتع لسنوات كثيرة بصحبة المغنية ماريانا باريسي. وتوجه إلى الفلسفة الطبيعية وأصبح مهتما بوعاء ليدن والبرق والكهرباء الاستاتيكية.

لويجي جالفاني

في هذا الوقت نفسه تقريبا، أدخل لويجي جالفاني، المتخصص في التشريح، خطافا نحاسيا في ساق ضفدعة وعلقه على سياج حديدي. ومع أن ساق الضفدعة كانت قد استؤصلت تماما، إلا أنها أخذت تنتفض. نشر جالفاني ملاحظاته، وأطلق على الظاهرة الجديدة اسم «الكهرباء الحيوانية»، معتقدا أنها لا توجد إلا في الأنسجة الحيوانية فقط. وعندما اطلع فولتا على ملاحظات جالفاني، بدأ في إجراء تجاربه الخاصة. وقد وجد أنه يمكن حث رد الفعل نفسه بواسطة فلزات مختلفة (غير متماثلة). وبعد أن أجرى اختبارات مستفيضة على العديد من الحشرات والحيوانات ـ «من المسلي جدا أن تجعل جندبا منزوع الرأس يغني»[5] ـ وقد استنتج أن مصدر رد الفعل لم يكن الحيوان بل الشحنة الكهربائية التي تولدت بطريقة ما عن اتصال فلزين مختلفين. واستنتج أن الضفدعة كانت مجرد تكملة للدائرة.

تعطلت أبحاث فولتا نتيجة لحادثين: زواجه وهو في سن 49، والذي منحه ثلاثة أطفال على مدار ثلاث سنوات، والغزو الفرنسي لإيطاليا. وعندما عاود أبحاثه بجدية ، قرر أن يقوم بمحاكاة الموصلات الحيوانية بواسطة ورقة مشربة بمحلول ملحي. نجحت التجربة واكتشف أنه يمكن أن يولد تيارا كهربيا عند الطلب. أوصل سلسلة من الأقداح بموصل فلزي، ووجد أنه يمكن تضخيم الشحنة. وقد استعرض اختراعه أمام نابليون سنة 1800، فمنحه نابليون ميدالية ذهبية وأسس جائزة سنوية للتجارب على الكهرباء.

أرسل فولتا نتائجه إلى الجمعية الملكية في خطاب موجه إلى رئيسها، سير جون بانكز ومؤرَّخا في 20 مارس 1800 . أطلع بانكز سير أنتوني كارلسل ـ الطبيب البارز في المجتمع ـ على محتوى خطاب فولتا، وفي غضون بضعة أيام صنع كارلسل «بطارية مكونة من 17 نصف كروان (من الفضة)، مع عدد مساو من قطع الخارصين وكرتون مشرب بماء مالح...»[6]، فوجد أن هذه البطارية تولد الكهرباء هي الأخرى، أوصلها بكشاف كهربي: رقيقتين من الذهب تتباعدان إذا شحنتا بالكهرباء. كان هذا الجهاز الجديد لقياس الشحنة الكهربية أكثر دقة (وأقل إحباطا) من تقدير الشحنة بواسطة الإحساس بالرجفة. بدأ تجاربه مع صديق له اسمه ويليام نيكولسون.

كان نيكولسون مقاولا ملتزما ارتحل مع شركة الهند الشرقية، وعمل مندوبا تجاريا لـ «جوسيا ويدجوود» الذي اشتهر بخدمات الشاي الصينية، كما عمل كمعلم رياضيات في المدارس وكوكيل اختراعات ومهندس مياه. وقد سجل العديد من اختراعاته الشخصية، وساهم في كتابة رواية واحدة على الأقل، وكان لديه من الوقت ما يكفي ليتزوج وينجب على الأقل طفلا واحدا، كما كتب قاموسا كيميائيا. والأهم من ذلك بالنسبة لروايتنا، هو أنه قام بنشر مجلة علمية شهرية. كان نيكولسون يورد في هذه المجلة تقارير عن أنه هو و «السيد كارليسل» قد لاحظا انفصالا في الغاز «حيث نقطة من الماء فوق الألواح العليا أكملت الدائرة» (7). كان هذا أول تحليل بالكهرباء يلاحظ، وهو تفكك المواد بالكهرباء. وسرعان ما أصبحت المجلة ملتقى الأبحاث الجديدة عن الكهرباء. وفي النهاية كانت المجلة فاشلة اقتصاديا. وقضى نيكولسون عقوبة في سجن المدينين، ومات فقيرا بعد أن أقعده المرض، لكنه كان قد أعد المسرح لمشهد عظيم من الاكتشافات، وفوق هذا المسرح خطا برزيليوس في صيف سنة 1800.

النظرية المزدوجة للميل الكيميائي

جونز جاكوب برزيليوس

مات والد برزيليوس عندما كان في الرابعة من عمره، وتزوجت أمه من رجل له خمسة أولاد. وتختلف الروايات عن صعوبة هذا الوضع، وتوفيت والدته حينما كان عمره 9 سنوات، فأرسلوه مع أخته إلى بيت أحد أخواله. وفي سن 15 كان برزيليوس يذهب إلى معلم خصوصي في مزرعة قريبة. وأصبح اهتمام برزيليوس منصبا على العلوم الطبيعية والطب. ولما بلغ سن 19 ربح منحة دراسية لمدة ثلاثة أعوام، وأصبح قادرا على تركيز جهده في الدراسة. وبعد سنتين جاء العام 1800، وهو العام الذي أبدع فيه فولتا بطاريته التي تولد الكهرباء.

صنع برزيليوس بطارية فولتية من أجل رسالة الدكتوراه، ودرس تأثير التيار الجلفاني على المرضى. لم يجد تأثيرا (ولم يجتذب مرضى جددا)، لكن هذا الأمر بدأ سلسلة من الأفكار التي أدت، في قمتها بعد 11 عاما، إلى النظرية المزدوجة للميل الكيميائي. سار برزيليوس على خطى نيكولسون

وكارليسل في تجاربه، ليكتشف أن الكهرباء لا تشطر الماء فقط، بل تشطر الأملاح أيضا. وفي وقت واحد، قام هو وديفي بفصل فلزات الأتربة القلوية مثل الكالسيوم والباريوم بالتحليل الكهربي. ثم اقترح حينئذ نظرية مزدوجة للميل الكيميائي، مبنية على التجاذب الكهربي:

في كل اتحاد كيميائي يحدث تعادل بين شحنتين متضادتين، وينتج هذا التعادل نارا كما يحدث عند تعادل كهرباء القارورة، أو كهرباء البطارية، أو كهرباء البرق [8].

كان هذا الأمر سارا لأنه كان يحمل جرثومة الحقيقة (كان على الصورة النهائية أن تتطور ببطء من هذه النقطة). قوبلت أفكاره بالترحيب، وأصبح برزيليوس كيميائيا محترما وناجحا.

كان برزيليوس يفكر في استخدام الذرات، وهو الذي بدأ كتابة الصيغ الكيميائية باستخدام الحرف الأول من اسم العنصر (مضيفا حرفا ثانيا للتفريق بين عنصرين يبدآن بالحرف نفسه). وهو الذي استخدم الأرقام مكتوبة أعلى الرمز للدلالة على العدد النسبي المركب. أثبت هذا النظام أنه يمكن استخدامه بسهولة لدرجة أنه لايزال يستخدم حتى اليوم (فيما عدا أن الصيغة المألوفة H2O كان لابد من أن تكتب حسب طريقة برزيليوس H2O). وفي الواقع لم يكن برزيليوس يكتب صيغة الماء بأي من الطريقتين، أو ليس بالرقم 2، لأنه مبدئيا كان يعتقد بالمقدمة المنطقية لدالتون والتي تقول إن جزيء الماء يتكون من ذرة هيدروجين وذرة أكسجين (الجزيء يتكون من ذرات وهو أصغر جسيم من مادة المركب تحتفظ بجميع خواص المادة). ومن هذا المنطلق - ومن اكتشافات كيميائيين كثيرين آخرين - بنى برزيليوس جدول الأوزان الذرية.

وأخيرا، بعد أن أمن برزيليوس شهرته وثروته، كان في مقدوره أن يفكر في حياته الخاصة. تزوج وهو في سن 56 من ابنة أحد أصدقائه القدامى عمرها 24 سنة. وقد كتب إلى أحد معاونيه (الذي سنعرض له حالا) «أجل يا عزيزى فوهلر - أنا الآن متزوج حديثا منذ ستة أسابيع فقط. وقد تعلمت معرفة جانب من الحياة لم يكن عندى فكرة عنه، أو كانت فكرتي عنه زائفة»[9]. وعندما دخل برزيليوس بيت الزوجية قبل إجراءات الزفاف مباشرة، قام والد زوجته بتسليمه رسالة من ملك السويد، مع تعليمات بأن تقرأ الرسالة أمام الضيوف المحتشدين. كان الخطاب ينصب برزيليوس

بارونا.

كان الزواج سعيدا في كل الروايات، لكن شابت مسحة من الحزن سنوات برزيليوس الأخيرة. وعمل جاهدا بشكل خارق ليعوض بدايته الفقيرة. وقد أصيب في أحد الانفجارات الكيميائية، ولم يُشف إلا بعد أن أمضى عدة أشهر في ظلام دامس. كان يتعرض لصداع واكتئاب كلي، تقدمت به السن، وأصبح جامدا في تفكيره، ورفض تقبل الإنجازات الجديدة في الكيمياء. وفي سنواته الأخيرة، كان محل احترام، لكن أفكاره لم تحظ بعناية كبيرة.

كان هذا لا ينكر على برزيليوس تاريخه الطويل المستمر. ففي بدايته كان ينظر له كزعيم للمجتمع الكيميائي. وقد دأب على نشر تقرير سنوى عن الإنجازات البارزة في الكيمياء لمدة عشرين سنة، وكانت انتقاداته الموجهة تدفع وتساعد على إدراك الكيمياء كعلم دقيق. ومن إنجازات برزيليوس تصنيفه لعناصر الكلور والبروم واليود كأعضاء في أسرة كيميائية واحدة، والتي أسماها «هالوجينات»، وقد أدخل استخدام مصطلحات الأيزوميرية أو التشبه الجزيئي للدلالة على المواد التي لها التركيب الكيميائي نفسه لكن خواصها الفيزيائية مختلفة (كان مفهوم الجزيئات المتراكبة بدأ يبزغ لتوه)، والحفز الذي يصف مقدرة بعض المواد على تعجيل سرعة التفاعلات دون أن تدخل هي في التفاعل والتآصل، ليصف حقيقة أن بعض العناصر توجد في أشكال جامدة مختلفة ولها صفات مختلفة (مثل الماس والجرافيت: فكلاهما كربون صلب، لكن لهما صفات وأسعارا جد مختلفة).

وأثناء عملية تعيين الأوزان الذرية الدقيقة، قام برزيليوس بتصميم أشياء كثيرة من تلك التي تستخدم كأجهزة كيميائية حتى اليوم، بما في ذلك الأقماع الزجاجية، والكؤوس وزجاجات الغسل وأوراق الترشيح والأنابيب المطاطية (في السابق كانت تستخدم أنابيب جلدية مخيطة) وقد استخدم لهبا كحوليا معروفا باسم مصباح برزيليوس، والذي حل محله بعد ذلك مصباح بنزن فقط عندما أدخلت الإنارة بالغاز ومدت أنابيب الغاز. وقد استخدم كل هذه الأجهزة المعملية الحديثة لعزل عناصر جديدة واكتشافها، الأمر الذي سنكتشفه نحن أيضا الآن.

في بدايات القرن التاسع عشر، بعد أن أصبح الكيميائيون الذين جاؤوا بعد لافوازييه أحرارا يبحثون وينقبون في كل مكان، بدأوا يلاحظون نظاما

وراء التفاعلات الكيميائية. وفي أثناء الفترة الأولى من القرن التاسع عشر اكتشفت سلسلة من القوانين أرست قواعد النظرية الذرية، وزودتنا بطرق لقياس الأوزان الذرية، وطرحت نظريات لتفسير الميل الكيميائي (مع أن الجدل حول الذرات والميول كان مقدرا له أن يستمر في القرن التالي). ومع أن نظرية برزيليوس الازدواجية عن الميل كانت في غاية البساطة، ومبدأها الأساس هو أن الميل الكيميائي تقوم على التجاذب الكهربي، فقد ثبت بعد مائة سنة أنها صحيحة. لكن قبل أن نصل إلى هذه النقطة، كان هناك الكثير من العمل الأساس لابد من إنجازه. وحيث إن لافوازييه أوضح أنه يمكن أن توجد عناصر كثيرة، فإن الكيميائيين بدأوا في اكتشافها، فقد فعلوا ذلك ـ فعلا ـ في أغلب الأحيان بالبحث في القاذورات.

10 الكيميائي المحترف

كانت السنوات بين العامين 1790 و1848 موسم اكتشاف العناصر، فقد أضاف الكيميائيون حوالى 29 عنصرا إلى قائمة لافوازييه ـ أي بمعدل عنصر كل سنتين في المتوسط. كانت للعناصر الجديدة خواص مدهشة وقد وجد الكثير منها استخدامات مفيدة فور اكتشافها . ومع النجاح المتزايد للكيمياء جاء النجاح المتزايد للكيميائيين. لم يعد هناك سيميائيون مختبئون في السراديب ولا حرفيون يخلدون مهاراتهم، بل صار الكيميائيون أعضاء في المجتمعات، يؤسسون الصناعات ويجنون الثروات. اكتسب الكيميائيون. الاحترام وأبدى المزيد من الناس رغبتهم في تعلم هذا العلم المحترم. وعندما اكتشف رجال الصناعة ميزات العمليات المحسنة، رغبوا هم الآخرون في استخدام الكيميائيين. أصبح هناك اهتمام ودخل وزخم من أجل تعليم ومناصرة الطبقة الجديدة: الكيميائيين المحترفين. لكن لم يكن الكيميائيون مجرد ممارسين لحرفة بل كانوا جزئيا فنانين وفلاسفة كذلك. ربما يكون ذلك قد انبثق عن حقيقة أن أوائل الكيميائيين المحترفين كانوا نتاج مؤثرين: الثورة الصناعية والرومانسية.

- الثورة الصناعية والرومانسية
- المعهد الملكي
- الكيمياء الكهربية
- مشاكل الذرة

الثورة الصناعية والرومانسية

في إنجلترا وفي منتصف القرن الثامن عشر أدى التقدم التقني واتساع التجارة عبر البحار إلى زيادة الطلب على المنتجات بحيث لا يمكن إشباعه عن طريق الإنتاج المنزلي بالقطعة. ومن أجل رفع كفاءة الإنتاج، جُمع العمال في مصانع تقع في المراكز. أصبحت مجموعة التغيرات الاجتماعية والتقنية التي صاحبت ذلك معروفة باسم الثورة الصناعية، وقد أفادت الإنتاج بشكل كبير، غير أنه ليس واضحا أنها فعلت الشيء نفسه للمجتمع. وعندما كتب ديكنز عن الثورة الصناعية فإنه كتب عن البخيل وأوليفر والأوقات العصيبة والتوقعات المراوغة. أما الحركة الرومانسية فكانت بطريقة أو بأخرى رد فعل للثورة الصناعية والتنوير ذي المدخل المنطقي الحاد. كان المفكر الرومانسي قادرا على تقبل بعض الحقائق التي لا تملك بالضرورة إثباتا منطقيا أو علميا تجريبيا. فعقيدة الحركة الرومانسية الأساسية هي التناغم مع الطبيعة والإيمان بأن السمة الأساسية للعالم الطبيعي هي البساطة. وبذلك كان الكيميائي المحترف مدفوعا للتقدم التقني بالثورة الصناعية لكن مسترشدا في ذلك بالرومانسية. وقد اتضح أن هذا التزاوج مثمر جدا.

أدركت روح الرومانسية برزيليوس فكان يذهب في رحلات خلوية طويلة لجمع المعادن وعينات من النباتات. وأصبح من عادة متحمس آخر للطبيعة، هو فريدريتش ستروماير، أن يجوب محلات الصيادلة والخروج في رحلات خلوية بحثا عن عينات جديدة. وقد التقط في أحد هذه المحلات عينة من أكسيد الخارصين الملوث. وعندما عزل الملوث اكتشف عنصرا جديدا هو الكادميوم. وكان آبي رينيه جوست هوي يعشق جمع الأحجار الكريمة. وقد أعطى واحدا منها إلى نيكولاس لويس فوكولين مساعد فور كروي. قام فوكولين بتحليل الحجر الكريم بيريل واكتشف العنصر الجديد بيريليوم. وقد يبدو من قراءتنا لنجاحاتهم في تلك الأيام أن الأمر لم يكن يتطلب سوى أن يهز الكيميائي حجرا ليتساقط منه على الفور عنصر جديد. لكن في الحقيقة كان كل اكتشاف نتيجة لعمل دقيق ودؤوب. فقد كانت تستخدم وتتطور أدوات وتقنيات التحليل والاختبار بواسطة المحللين والكشافين الذين كانوا يتعرفون على الأملاح ويعينون كمية الفلز في الخام ودرجة نقاء المواد،

وقد وجد الذين برزوا في هذه التقنيات سوقا جاهزة لفنونهم وتطور منهم بعد ذلك نوع من المتخصصين هم الكيميائيون المحللون. وأحد المهمين في هذا المجال هو مارتين هنريتش كلابروث.

مارتين هنريتش كلابروث

ولد مارتين هنريتش كلابروث في السنة نفسها التي ولد فيها لافوازييه، وقد اضطلع بدور كبير في إدخال كيمياء لافوازييه الجديدة إلى الولايات الألمانية (مهمة ليست سهلة لأن ستال ـ نقيض لافوازييه ـ كان ألمانيا). بدأ كلابروث صبيا في صيدلية وانتهى به الأمر مديرا للصيدلية المملوكة لفالنتين روز، الذي علَّم سلسلة طويلة من الكيميائيين والصيادلة. توفي روز الأب بعد فترة وجيزة من تعيين كلابروث مديرا، والذي تركت له مهمة تنشئة ابنه الأصغر فالنتين. وقد قام كلابروث بواجبه بكل إخلاص، وأصبح الابن صيدلانيا وكيميائيا كما صار أبناؤه بدورهم كذلك فيما بعد.

كان كلابروث كذلك يجمع المعادن ويقوم بتحليلها، ومثل بقية الكيميائيين كانت تواجهه أحيانا حالات لا ينطبق فيها مجموع النتائج على 100٪، وعلى النقيض من عادة بعض الكيميائيين الآخرين، لم يكن يفترض أن هذه الفروق راجعة لوجود أخطاء كما لم يقم بمعالجة النتائج لتأتي متطابقة مع المتوقع. كان يعيد تحاليله بكل دقة وعندما يتأكد من النتائج كان يبدأ البحث عن الجزء الغائب. وفي بعض الأحيان كان يتضح أن الجزء الغائب عنصر جديد. كان كلابروث أول من فصل التيليريوم، وسماه كذلك على الاسم اللاتيني للأرض. قام كلابروث كذلك بتحليل الرمل المغناطيسي الأسود واكتشف التيتانيوم، وهو فلز جديد سماه على اسم تيتان (الأبناء الأوائل للأرض)

تزوج كلابروث زيجة غنية. الأمر الذي مكنه من إنشاء معمله الخاص. وقد اقتنى مجموعة من المعادن من بينها عينة من البيتشبلند (الخام المعروف جيداً) عالجه بالأحماض والحرارة وأخيرا فصل بلورات كبيرة رباعية الأوجه صفراء اللون نقية لملح جديد. وتتعارض الروايات حول ما إذا كان قد فصل العنصر الفلزي الموجود في الملح، لكنه عى الأرجح لم يقم بذلك. غير أنه أيقن أن البلورات لم تكن مركبات لعناصر معروفة، ولذا فقد أرسل الإعلان

التالي إلى أكاديمية العلوم البروسية في برلين.

«لقد زاد عدد الفلزات المعروفة واحدا (من 17 إلى 18) وقد استثرنا منذ بضع سنوات لدى سماعنا باكتشاف آخر كوكب بواسطة سير ويليام هيرشيل. وقد سمي العضو الجديد في المجموعة الشمسية اورانوسس. وإنني اقترح استعارة شرف هذه الكشف العظيم وإطلاق اسم يورانيوم على هذا العنصر»[1].

مع أن اليورانيوم كان يعتبر يوما ما نادرا، إلا أنه أكثر انتشارا في القشرة الأرضية من الزئبق أو الأنتيمون أو الفضة أو الكادميوم، وكانت أملاحه تستخدم كمادة ملوّنة منذ القدم. وقد فُصل الفلز الأبيض الفضي بعد ذلك عندما قام الكيميائي الفرنسي يوجين ـ ميلكيور بيليجوت باختزال ملح الكلوريد بواسطة البوتاسيوم.

كان كلابروث جد موقر ككيميائي وقد أصبح أول أستاذ للكيمياء في جامعة برلين التي كُونت حديثا مع أنه كان في سن 67 في ذلك الوقت. وقد توفي وهو مازال يقوم بالتدريس ويجمع الصخور في سن 74.

وهناك الكثير من القصص المدهشة التي صاحبت اكتشاف عناصر أخرى في هذا العصر، مثل اكتشاف النيوبيوم في عينة من مجموعة جون وينثروب الأصغر (أول حاكم لمستعمرة خليج ماسيشوسيتس، وهو سيميائي وطبيب وجامع صخور) كذلك اكتشاف السيلينيوم بواسطة برزيليوس في أثناء تحليل بقايا الأرضية في مصنع حمض الكبريتيك، واكتشاف الفاناديوم بواسطة أندرييه مانويل ديل ريو الأستاذ بمدرسة التعدين في مدينة مكسيكو، واكتشاف البلاديوم الذي أعلن أنه لمجهول، وذلك في منشور أصدره ويليام هايد وولاستون[2]. وفي وجود هذا العدد من الاكتشافات للعناصر الجديدة كان من المفترض أن يقابل اكتشاف كل عنصر بابتهاج عظيم في بداية القرن التاسع عشر. لكن إحدى قواعد الرومانسية كانت تتحدث عن بساطة الطبيعة مما يفترض وجود عدد أقل من العناصر. لذلك كان يقابل كل إعلان عن عنصر جديد ببعض التشكيك. وفي الواقع ينسب لأول كيميائي محترف اكتشاف ثمانية عناصر جديدة ـ تبعا للقواعد الحديثة ـ إلا أنه قاوم فكرة أنها عناصر حقيقية لشعوره أن ذلك ضد وحدة الطبيعة. لم يكن يثق في الملخصات ولا في النظريات الميكانيكية التي كانت تحاول إخضاع الطبيعة للمنطق (بما في ذلك النظرية الذرية لدالتن). لكن في ذلك الحين

كان هو الآخر نتاج التأثيرات المتعارضة. فقد كان ميلاده في مكان رومانسي من بيئة طبيعية حيث أراضي كورنوول المكسوة بالعشب التي تكتسحها الرياح من كل جانب، وقرى الصيادين العتيقة والنصب الحجرية السلتية(*)، والانحدارات القاطعة التي تعلن انتهاء الأرض ـ لكنها بيئة طبيعية اقتحمتها للتو الآلة البخارية بواسطة رجال المناجم الكورنويين. وقد ظل طوال حياته ممزقا بين الرومانسية والتقدم وكان أكثر شيئين أحبهما: الكيمياء وصيد السمك بالصنارة.

همفري ديفي

كان أسلاف ديفي في بعض الأحيان من الكادحين، وفي أحيان أخرى من طبقة ملاك الأراضي الذين عاشوا في كورنوول من قبل أن تحفظ الأسماء على شواهد القبور. وكان من المفترض أن يرث والد ديفي عما ثريا قام بتربيته، لكنه لو يوقع الوصية قبل وفاته. لذا وجد والده نفسه وحيدا مع مزرعة صغيرة مما اضطره إلى أن يستكمل دخله من بيع المنحوتات الخشبية. وقد توفي مدينا بعدأن غامر بنقوده في المزرعة والقصدير بينما كان ديفي مراهقا.

كانت حرب الاستقلال للولايات المتحدة مشتعلة عندما وولد ديفي، وغطت أحداث الثورة الفرنسية فترة شبابه المبكر. انتهت فترة تعليمه الرسمي وهو في الخامسة عشرة وقبل عام واحد من ارتقاء لافوازييه سلم المقصلة. تركت والدة ليفي المزرعة لتؤسس شركة لصناعة وبيع القبعات النسائية بمشاركة شابة من اللاجئين من فرنسا، والتحق ديفي كصبي حرفي لدى جون بورلاسي الجراح والصيدلاني. وقد قرأ الأدب الرومانسي ومارس كتابة الشعر الرومانسي في هذه الفترة. وفي إحدى المرات. عندما كان يقوم بتسليم دواء لمريض في الريف، هبط عليه وحي الشعر وسرح بخياله بعيدا، فانطرح أرضا وطارت زجاجة الدواء فوقعت في كومة من القش بجوار الطريق. ولم يتمكن من العثور عليها إلا في اليوم التالي. من السهل إذن أن نرى لماذا كانت عمليات سحق الدواء وتعبئته تبدو عملا دنيويا بالنسبة لمثل هذه الروح. ومع أن ديفي كان يحب المرضى ـ وهم يحبونه

(*) نسبة إلى أحد الأعراق الهندية واللغات التي يتحدثها ومنها الأيرلندية والويلزية والاسكتلندية.

بدورهم ـ إلا أنه كان يبغض الجراحة، ويشعر في قرارة نفسه أن له دورا أفضل في الحياة. وساعدته الأقدار لأنها دبرت له شيئا آخر.

كان جزء من دخل والدته يأتي من إيوائها للطلاب وإطعامهم. وقد تصادف أن كان جريجوري وات أحد هؤلاء، وهو ابن جيمس وات الذي سنلقاه مرة أخرى مرتبطا بتطور الآلة البخارية. وقد أرسل الابن إلى كورنوول لأن أخته كانت قد توفيت متأثرة بداء الرئة، فشعر والداه أنه مهدد هو الآخر. تلقى وات تعليمه في جلاسجو متخصصا في الجيولوجيا والكيمياء، وكان يشرك ديفي في معرفته. وقد التقى ديفي من خلال وات بديفيز جيلبرت (واسمه قبل الزواج: جيدِّي، لأنه عندما تزوج أخذ اسم وقوة أسرة زوجته)، ثم التقى بالدكتور توماس بيدوس من خلال جيلبرت.

كان دكتور بيدوس قد فقد وظيفته كمحاضر في أكسفورد لأنه كتب عن الثورة الفرنسية، وكان يحاول الآن إنشاء معهد طبي للعلاج بالغازات ليختبر فيه استخدام الغازات الصناعية (المحضرة مثل ثاني أكسيد الكربون) في علاج الأمراض. كان هناك العديد ممن سبقوا في هذا المجال بما في ذلك الاختبارات التي قام بها الأطباء الإنجليز حول استخدام ثاني أكسيد الكربون عن طريق المستقيم لعلاج ما وصف بأنه «حمى العفن». قرر بيدوس أن الغازات المنبعثة من حظائر البقر مفيدة في علاج الهزال الناتج عن السل، وكان ينصح مرضاه بالإقامة في مخازن التبن. ومن المثير أن نذكر هنا أن عنوان المقالة التي نشرت فيها هذه الطريقة في العلاج قد تغير من «الشفاء العاجل والمؤكد من الهزال الرئوي» إلى «الراحة السريعة والشفاء المحتمل» ثم إلى «الراحة المحتملة والشفاء الممكن» فيما بين أول وآخر نسخ المراجعة.

كان جيران ديفي يظنون أن بيدوس مندوب دعاية أو مشعوذ، لكن ديفي كان راضيا مع أسرة بيدوس:

الدكتور بيدوس... واحد من أكثر الرجال غرابة فيمن قابلت ـ قصير وسمين فوق العادة وسلوكه لا يتصف بالأناقة أو الرقة، وظاهريا لا يدل أي شيء فيه على العبقرية أو العلم، فهو صموت جدا، وباختصار فهو رفيق سيىء جدا ... أما السيدة بيدوس فهي على النقيض... فائقة البهجة والمرح والذكاء... ونحن بالفعل أصدقاء مقربون. وقد أخذتني إلى مشاهدة كل المشاهد الرائعة عن كليفتون، لأن الدكتور لا يستطيع السير كثيرا نظرا لانشغاله وحجمه[3].

عين بيدوس ديفي في معهده ليجري التجارب على الغازات الصناعية

المختلفة. جاءت الجهود الأولى لديفي في التجارب ذات طبيعة تخمينية. كان يفتقد المنهجية والمدخل النقدي لأنه هو الذي علم نفسه فنون التجارب. إلا أنه كتب عن هذه التجارب في سلسلة من المقالات نشرها بيدوس في كتاب عنوانه «مساهمات في المعرفة الفيزيائية والطبية، أساسا من غرب إنجلترا». وقد حاول ديفي في بعض المقالات أن يدحض مفهوم السيال الحراري ويثبت أن الحرارة ليست مادة وإنما نمط من الحركة. وهذا هو المفهوم المقبول، لكن طريقة ديفي في عرض ذلك كانت مثار التساؤلات. ومن المثير أن ديفي تقبل فكرة أن الضوء مادة، وافترض أن المجال الكهربي ما هو إلا ضوء متكثف. وقد خمن كذلك أن النباتات البحرية تقوم بتجديد الأكسجين تماما مثلما تفعل النباتات البرية.

أخذت المؤسسة العلمية كل هذه الأمور من ديفي كمزحة كبيرة، لأنه كان مرتبطا ببيدوس، وللثقة الزائدة في نفسه كشاب. وقد كتب ديفي بغضب في مذكراته:

ربما لا يدرك هؤلاء النقاد أن هذه التحارب قد أجريت عندما لم أكن قد درست الكيمياء سوى أربعة أشهر، ولم أكن قد شاهدت تجربة واحدة تجري أمامي... وربما لا يأخذون في اعتبارهم جهازي لا يمكن أن يصنع أتقن من ذلك، وأن الأمر يتطلب جهدا لا نهائيا لإتمام التجربة... وقد حددت عدم الدقة بواسطة... كيميائيين بارزين (من بينهم) قلة فقط يعلم الله من إنجلترا...[4].

كتب جوزيف بريستلي من الولايات المتحد في ملحق لكتابه «إرساء قواعد الفلوجستين» يقول «أعطتني مقالات السيد ديفي... انطباعا وفكرة رائعة عن فطنته الفلسفية»[5]، لكن ديفي لم يغفر حتى النهاية أبدا النقد الذي لاقاه من رفاقه في بلده.

ومن حسن حظ العلم أن ذاته قد هدأت بعد أن تحدى فكرة أن أكسيد النيتروز هو أس الضرر وقام باستنشاقه. وقد اكتشف أنه يسبب نشاطا فسيولوجيا واضحا. قد كتب:

نتج عن ذلك في التو تقريبا شيء أخذ يسري من الصدر إلى جميع الأطراف. وشعرت بشيء محسوس يجلب السرور بشدة في جميع الأطراف، أما انطباعاتي البصرية فقد كانت مبهورة ومضخمة ظاهريا ... وبالتدريج، ومع زيادة الإحساس بالسرور فقدت اتصالي بالعالم الخارجي... ووجدتني في عالم من الأفكار المتجددة والمعدلة والمترابطة. وقد أخذت أُنظِّر وتخيلت أنني قمت باكتشافات. وقد أيقظني من هذه الغفوة شبه المهتاجة الدكتور كنج ليك، الذي أخذ الكيس من فمي، كان السخط والغرور هما أو لمشاعري عند مشاهدة الأشخاص الذين كانوا حولي[6].

ومع أن ديفي نصح باستخدام أكسيد النيتروز، والذي يسمى الآن بالغاز الضاحك، في العمليات الجراحية الصغرى، إلا أن أول نجاح لهذا الغاز كان كدواء للاستجمام. فقد استخدمه ديفي بنفسه لهذا الغرض، على الرغم من أن جريجوري وات قد وصفه أول مرة كدواء للاستجمام.إلا أنه قد وجده مفيدا أيضا كعلاج من آثار المرض. وقد استنشق الشاعر كوليريدج ـ وهو من معارف السيدة بيدوسي ـ هذا الغاز وأصبح من أشد المعجبين بديفي، وكذلك استنشقه الدكتور بيتر روجيت (الذي اشتهر بموسوعته)، وتوماس ويدجوود ابن جوشيا المشهور بطاقم الشاي.

وقد جرب ديفي غازات أخرى معتمدا في ذلك على نجاحه. فقد كان يعلم أن أكسيد النيتريك يكون حمض النيتريك إذ أصاب هواءا رطبا، لذلك أخرج أكبر كمية ممكنة من هواء الزفير من رئتيه قبل أن يستنشقه، ومع هذا احترق فمه وحنجرته وربما رئتاه. وقد استنشق الغاز المائي، وهو مزيج من أول أكسيد الكربون والهيدروجين، وكان قاب قوسين أو أدنى من إنهاء سيرته وحياته.

نشر ديفي «أبحاث كيميائية وفلسفية تتعلق أساسا بأكسيد النيتروز أو هواء النيتروز منقوص الفلوجيستون واستنشاقه» في 580 صفحة. وقد استقبل هذا العمل بارتياح، الأمر الذي أرسى سمعة ديفي ككيميائي وجعل الكل ينسى ما كان قد وجه له من نقد مبكر فيما عدا هو نفسه، فلم ينس شيئا.

كان ديفي محقا إلى حد ما في إحساسه بالظلم. فقد كان يمارس العمل من دون أن يجني فوائد التعليم الكيميائي الرسمي. ولم يكن وحيدا في هذا الأمر في إنجلترا . كانت فرنسا ما تزال رائدة في العلوم، مدفوعة في ذلك بفعل الثورة الفرنسية، أما الولايات الألمانية فقد جاءت تالية لفرنسا مباشرة مكتسبة طاقة العام 1871، عندما تحولت أخيرا مجموعة الولايات الألمانية الضعيفة إلى أمة. وفي إنجلترا لم تكن هناك أي جهود منتظمة لتدريس العلوم في الجامعات إلى أن أُنشئت الكلية الجامعية في لندن العام 1826 قام الأكاديميون المعارضون بتدريس العلوم، لكن ذلك لم يكن متاحا لمعظم الطلاب. بزغ شعاع من الضوء على هذا الوضع المظلم عندما قرر بنيامين تومسون ـ الكونت رمفورد، وهو الزوج الثاني لماري لافوازييه ـ أنه من

الحكمة أن تقوم إنجلترا بمحاكاة فرنسا، فأنشأ المعهد الملكي.

المعهد الملكي

كان المعهد الفرنسي الذي قصد تومسون أن يحاكيه هو المعهد العالي لتعليم الفنون والتجارة والذي كان قد أنشىء لتعليم المهارات الصناعية للعامة. أنشأ تومسون الجمعية لتشجيع الصناعة وتحسين أحوال الفقراء، ثم أحال إلى هذه الجمعية اقتراحا بتأسيس.

معهد عام لنشر المعرفة وتيسير إدخال المخترعات الميكانيكية المفيدة وتطويرها، ومن أجل تدريس مناهج المحاضرات الفلسفية وتجارب تطبيق العلوم في الأغراض العامة للحياة[7].

أُسس المعهد الملكي لبريطانيا العظمى في لندن بعد أن جمعت له الميزانية المطلوبة. ودعا تومسون ديفي ليصبح مديرا للمعمل في المعهد الملكي ـ الذي أُسس حديثا ـ ليشغل وظيفة أستاذ مساعد الكيمياء. وكان ديفي في بداية العشرينيات من عمره.

تحطم حلم تومسون في تقديم تعليم عملي للجماهير، حيث تطلبت جهوده أموالا بينما لم يكن يلوح في الأفق أي تمويل. كان ديفي يدرك ذلك، وبفطنة علمية واقتصادية صمم محاضرات مسلية لجذب المتبرعين من الأغنياء. وقد غير ذلك من روح رسالة المعهد، فاعترض تومسون، لكن المديرين العمليين الآخرين تغلبوا عليه. كان رد فعل تومسون هو أنه ترك إنجلترا وأمضى بقية حياته في فرنسا.

كان من الصعب إنكار نجاح ديفي. وعندما اختير دالتون ليلقي سلسلة من المحاضرات في المعهد الملكي، قام ديفي بتوصيله، وأخبره أن يركز على المحاضرة الأولى لأنها هي التي سيتذكرها الناس. وقد ذكر دالتون أن القاعة التي ضمت حوالى 200 مستمع كانت مسرورة بالنتيجة. وقد وصف ديفي بأنه «مقبول جدا وشاب ذكي... ويكمن الضعف الأساسي في صفاته كفيلسوف في أنه لا يدخن»[8].

وبالطبع كان أكسيد النيتروز ضمن الموضوعات التي اختارها ديفي لمحاضراته، كذلك اختار أن يحاضر في موضوع آخر ساخن من الأبحاث، هو الكهرباء.

كان ديفي في أوائل العشرينيات من عمره يعمل على الوصول إلى تركيب

الغاز الضاحك عندما اخترع فولتا بطاريته. انجذب ديفي بشدة وفي التو إلى هذا المجال من الأبحاث، وطور تصميم فولتا وذلك بغمر ألواح الخارصين والفضة مباشرة في الحمض وتوصيلها بأسلاك. وقد استخدم هذه البطارية الأكثر كفاءة ليثبت أن مرور التيار خلال ملح أو حمض يفككه دافعا جزءا من المادة في اتجاه القطب السالب وجزءا في اتجاه القطب الموجب. غطى هذا الموضوع في محاضرة إلى الجمعية الملكية العام 1806. وعلى الرغم من أن فرنسا وإنجلترا كانتا في حالة حرب، إلا أن نابليون قدم لديفي 3000 فرنك قيمة الجائزة التي وعد بها عن «أفضل التجارب... في المائع الجلفاني»[9].

ذهب ديفي إلى أبعد من ذلك ببطاريته، فهاجم البوتاسا الكاوية والصودا الكاوية، وهما مادتان كانتا تتحديان التحليل. كتب إدموند ديفي ابن عمه ومساعده في ذلك الوقت:

عندما شاهد الكريات الدقيقة من البوتاسيوم وهي تندفع من خلال قشرة البوتاسا وتشتعل... لم يستطع السيطرة على فرحته، وفي الواقع قام بالرقص حول الغرفة في انجذاب صوفي، وقد تطلب الأمر بعض الوقت ليستعيد السيطرة على نفسه ويواصل التجربة[10].

كتب ديفي في دفتر مذكراته بحروف كبيرة: «التجربة الكبرى»[11].

كانت مركبات البوتاسيوم معروفة منذ القدم، فالبوتاسيوم في الواقع هو العنصر السابع من حيث الانتشار في القشرة الأرضية. لكنها كانت المرة الأولى التي أمكن فيها رؤية الفلز وتوقعه. يتفاعل فلز البوتاسيوم مع الرطوبة ليكون غاز الهيدروجين الذي يشتعل من حرارة التفاعل. قام ديفي بحفظ البوتاسيوم النشط تحت النافتا (النفط) ويستخدم اليوم كوقود للقداحات، ثم بدأ بعد يومين في فصل الصوديوم عن الصودا الكاوية. لكن، وكما يحدث غالبا فإن حل ديفي لمعضلة قد أوجد معضلة أخرى. تتفاعل القواعد (المواد التي يشار إليها على أنها كاوية أو قلوية) مع الأحماض لتعطي أملاحا وماء، الأمر الذي يجعل منها، إذا أمكن أن نقول مضادات للأحماض. وعندما قام ديفي بتحليل القواعد كهربيا وجد أن الأكسجين أحد النواتج. وقد قال لافوازييه أن الأكسجين هو المكون الحمضي الأساسي، لكن ديفي أثبت الآن أنه، أي الأكسجين، يمكن اعتباره أساسيا في القواعد بالدرجة نفسها. وقد كرس ديفي السنوات الأربع التالية ليثبت أن العناصر لا تسلك

«كأساسيات» بالشكل الذي قال عنه لافوازييه.

وفي بداية الثلاثينيات من عمره، وهو في قمة نجاحه، وبعد أن قاوم التحاق النساء بقاعة محاضراته لسنوات، وقع ديفي فجأة في الحب. كانت أرملة اسكتلندية غنية، السيدة أبريس: صغيرة الجسم داكنة الشعر وراعية لمجموعات النقاش النسائية المنتشرة في ذلك الوقت والتي كانت تسمى (بواسطة التيار الثقافي السائد للرجال، وفي سخرية) نوادي الجذوع الزرق (أي نوادي المثقفات).

ارتبطت النساء ذوات المقدرة الذهنية الجادة بهذه النوادي مثل ماري سوميرفيل، الكاتبة الاسكتلندية التي كانت تكتب في الرياضيات والعلوم الفيزيائية، إلا أن كل العضوات كن يحاولن أن يبدون محبات للفنون. كانت السيدة أبريس نفسها مهتمة بالقيمة الاجتماعية أكثر من القيمة الذهنية للنوادي، لكن ديفي كان يرى في السيدة أبريس ما اختار هو أن يراه. ربط بين أصلها الاسكتلندي وأصوله الريفية، وتخيل أن اهتمامها بالعلوم كان يعني أنها ستكون عونا له في جهوده. أعارها نسخته المفضلة من «الصياد التام» وطلب منها أن تتزوجه. أصبح اسمه سير همفري ديفي في 8 أبريل العام 1812، وتزوج من السيدة إبريس يوم 11 من الشهر نفسه.

كان الزواج غير سعيد تبعا لجميع الروايات، لكن الليدي ديفي ـ مع ذلك ـ صاحبت زوجها إلى فرنسا ليتسلم جائزته من نابليون، الأمر الذي تطلب روحا خاصة، لأن البلدين كانا في حالة حرب ـ كما ذكرنا.

ليست مرافقة ليدي ديفي هي المثيرة في هذه القصة، ولكن مرافقة «خادم خصوصي» اسمه ميخائيل فاراداي لديفي. كان القدر يعد فاراداي للاكتشافات الأساسية عن تداخل الكهرباء مع المادة، أساسيات مجال الكيمياء الكهربية.

ميخائيل فاراداي

ولد ميخائيل فاراداي في ريف كثير التلال في منطقة سورى بعد أكثر من عشر سنوات بقليل من مولد معلمه ديفي. وكان والد فاراداي حدادا معتل الصحة بصورة دائمة. لكن الأسرة كانت تتلقى دعما من مجتمع طائفتهم المسيحية المعارضة «الساندمانيين». تخلى والده أخيرا عن ورشة

الحدادة وأخذ زوجته وأبناءه الأربعة وارتحل إلى لندن للبحث عن عمل. توفي الأب عندما كان فاراداي في سن 18، وأجّرت زوجته غرفا من البيت. أصبح أخوه الأكبر حدادا مثل والده، أما فاراداي فقد صار صبيا في محل تجليد الكتب.

من العسير أن تجد ظروفا أخرى، غير الظروف القهرية، تتدخل لتغيير حياة إنسان، وبالقطع كانت حياة ميخائيل فاراداي ستكون مختلفة لو لم يلتحق كصبي في محل تجليد الكتب. منحته هذه الوظيفة الفرصة التي لا تتيحها غيرها من الأعمال، لأن ميخائيل فاراداي لم يكن يجلد الكتب فقط، بل يقرأها أيضا.

قرأ «تحسين الذهن»، والذي كان ينصح بالاحتفاظ بمذكرات للأفكار والملاحظات. وقد بدأ في ذلك. وقرأ مقالا عن الكهرباء في الموسوعة البريطانية وتأكد بقدر استطاعته مما قرأه باستخدام مولد صغير للكهرباء الاستاتيكية. وقرأ كتاب جين ماركت «محاورات عن الكيمياء» والتي كانت موجهة بصورة أكثر تخصيصا للنساء[12]، وقرر أن يصبح كيميائيا.

لم تكن كتابة عمل علمي للنساء أمرا غير مسبوق. فقد كتب فوركروي مرجعا في الكيمياء للنساء، وكانت «خطابات إلى أميرة ألمانية» في الفيزياء، والتي كتبها يولر، مشهورة جدا. أما كتاب ماركت فقد كان غير عادي لأن التي كتبته امرأة وكان موجهاً للنساء:

عند المغامرة بتقديم كتاب في الكيمياء للجمهور، وعلى وجه الخصوص لجنس النساء، فإن المؤلفة تعتقد أن الأمر يحتاج إلى بعض الإيضاح، وتشعر أن عليها بالضرورة أن تعتذر لشروعها في ذلك، لأن معلوماتها عن الموضوع حديثة وليس لديها نية ادعاء لقب «كيميائي»[13].

وقد أصبحت ماركت ذكية حسنة الاطلاع في هذا الموضوع بالطريقة نفسها التي استخدمتها في التعليم: الحوار، الحوار مع زوجها الطبيب والكيميائي من لندن، ومع الأصدقاء، بروزيليوس وديفي وآخرين من البارزين في المجتمع العلمي. وفي كتاب ماركت كانت الحوارات تدور بين الشخصيات الخيالية السيدة «ب» وتلميذتيها إيميلي وكارولين. كانت هذه الطريقة فعالة لدرجة أن الكتاب قد طبعت منه 16 طبعة، وبيعت منه 160 ألف نسخة في الولايات المتحدة قبل العام 1853[14]. ويمكن قراءة تأثيره على ميخائيل فاراداي في كلماته:

«لقد أعطتني محاورات السيدة ماركت حول الكيمياء... أساسياتي في هذا العلم»[15].

قرر فاراداي أن حياته في العلم، لذلك كتب إلى جوزيف بانكس، رئيس الجمعية الملكية، يطلب وظيفة وأخبره في طلبه أنه سيقبل أي وظيفة. ولما لم يتلق ردا ذهب إلى مقر الجمعية مطالبا بالرد مرارا وتكرارا. وأخيرا قيل له إن بانكس صرح بأن: «الخطاب لم يتطلب رداً»[16]، لكن القدر وفاراداي تحديا جوزيف بانكس. أعطى أحد عملاء محل تجليد الكتب لفاراداي تذاكر لإحدى محاضرات ديفي، فذهب وأعد مذكرات في هذا الشأن. جلّد المذكرات مع الأشكال التوضيحية في مخطوطة من 386 صفحة. وأرسل المخطوطة بأخطائها الإملائية وكل شيء إلى ديفي مطالباً بوظيفة. لم يكن هناك عمل موات عند ديفي، لكن فاراداي لم يضطر للانتظار طويلا. فقد سمع ديفي ـ الذي يهتم دائما بزملاء المجال ـ بأن كيميائيا آخر قد صنع مركبا من النيتروجين والكلور ينفجر بملامسة حرارة يد الإنسان. ومع أن ديفي كان يعلم أن الكيميائي الآخر قد أصيب في أثناء التحضير، إلا أنه قرر أن يختبر المركب هو الآخر. انفجرت أيضا العينة التي حضرها وأصيبت عينه. ولرغبته في أن يستمر العمل فقد تذكر فاراداي. فقفز فاراداي طربا للفرصة التي أتيحت له بالعمل مع ديفي لبعض الوقت، مع أن ديفي نصحه بألا يتخلى «عن وظيفته في تجليد الكتب»، وعندما طرد ديفي مساعد المعمل لقذارته وإهماله ومشاحناته، فإنه فكر ثانية في فاراداي.

كان ديفي وفاراداي غير متوافقين شكلا. فقد كان ديفي يوصف بأنه بخيل، مستدير الكتفين، شديد التأنق، بينما كان فارادي يصف نفسه بأنه ذو لحية بنية وفم ضخم وأنف عظيم، وتُظهر صور ديفي رجلا في غاية الاتزان مصقولا، بينما تُظهر صور فاراداي خصلة كثيفة غير مرتبة من الشعر. لكن هذين الرجلين عملا معا بصورة رائعة. وعندما كان ديفي يستعد للسفر إلى فرنسا لتسلم جائزة عن أبحاثه في الكهرباء، طلب من فاراداي أن يصاحبه كمساعد وسكرتير. ولما خاف الخادم الخاص لديفي ورفض السفر، فقد طلب ديفي من فاراداي ـ إذا لم يكن لديه مانع ـ القيام بهذا العمل أيضا. وحيث إن الواجبات التقليدية للخادم الخصوصي كانت تشمل حفظ وتنظيف الملابس والرعاية المباشرة لمظهر السيد، والتي كانت تعني إعطاء المناشف في وقت الحمام وغسل الجوارب، فإن فاراداي، وإن

كان يمانع إلا أنه احتفظ بمشاعره لنفسه.

وعند العودة إلى لندن، رُقي فاراداي من وظيفة خادم خصوصي، وتلقى غرفة خاصة في المعهد الملكي، وراتبا عبارة عن 30 شلنا في الأسبوع. وفي غضون ستة أشهر بدأ في إعطاء محاضرات في جمعية المدينة الفلسفية، وخلال عام واحد نشر أول أبحاثه «تحليل الجير الكاوي من توسكانيا»[17]. وكما كتب مقدرا: «أعطاني سير همفري ديفي هذا التحليل لإجرائه كأول محاولة في الكيمياء، في الوقت الذي كانت مخاوفي أكبر من ثقتي، وجميعها أكبر كثيرا من معلوماتي»[18].

نمت خبرة فاراداي، فدرس الكلور وتفاعلاته وعزل أول مركبين للكربون والكلور. وبينما كان يقوم بعمله كخبير في إحدى القضايا أمام المحاكم، اختبر نقطة اشتعال بخار البترول. وقد أدت هذه الدراسة إلى اكتشاف البنزين. ولما بلغ الثلاثين من عمره تزوج سارة برنارد شقيقة أحد أصدقائه في جمعية المدينة الفلسفية. وعندما أصبح في الأربعين من عمره بدأ دراساته عن العلاقة بين الكهرباء والكيمياء (وهي الأبحاث التي حققت له الشهرة الكيميائية المرجوة).

الكيمياء الكهربية

اكتشف فاراداي قانونين أساسيين يحكمان تأثير التيار الكهربي في المحاليل. ينص القانون الأول على أن كمية التحلل الكيميائي في المحلول تتناسب مع كمية الكهرباء التي تمر من خلاله (في الحقيقة تسمى وحدة قياس كمية الكهرباء المنقولة في التحليل الكهربي فاراداي، على شرفه). وينص القانون الثاني على أن الكتلة المترسبة على القطب بإمرار كمية معينة من التيار تتناسب مع الوزن الذري للمادة مقسوما على شحنتها (أو الوزن المكافئ). وفي جوهر الأمر، فإن هذين القانونين يشيران إلى الكهرباء كمادة كيميائية تلعب دورا في التفاعلات الكيميائية بنسب محددة، وقد بنى الكثير على هذا الأساس.

استنتج فاراداي كذلك أن التحليل الكهربي (تفكك المادة بواسطة الكهرباء) قد حدث عندما سرت الكهرباء خلال المحاليل. وقد اختار أن يطلق اسم «أيونات» (Ions) على كل الأجزاء المشحونة كهربيا، وذلك من الكلمة الإغريقية

«الهائم». وقد وضع نظريته أن هذه «الأيونات» تهيم بين أقطاب (Poles البطارية) (أطلق عليها اسم electrodes)، حاملة التيار الكهربي. كان فاراداي يرغب في حينه أن يجد بادئة تضاف للكلمات أيون وإلكترود للدلالة على شحنتها ـ موجبة أو سالبة. فقام باستشارة العالم ويليام ويلويل[19] من كامبريدج. اقترح فاراداي البادئات الممكنة مثل ديكسيو dexio (يسار)، غير أن ويلويل لم ينصحه باستخدام هذه المصطلحات، واقترح بدلاً عنها آنود وكاثود وآينون وكايتون. «إذا كنت مع ذلك مازلت ملتزما بالتعبيرات ديكسيو وسكايو، فإنني في حيرة، كيف يمكن تركيبها مع كلمة آيون من دون إدماج الكثير من الحروف اللينة، الأمر الذي سيزعج القراء...» [20].

لم تكن مصطلحات فاراداي مع ذلك هي التي أزعجت القراء، لكن ما أزعجهم هو اكتشاف آخر هزَّ العالم النظري: فقد أثبت هانز كريستيان أويسترد وجود تداخل بين الكهرباء والمغناطيسية، وذلك عندما تسبب سلك يحمل تيارا كهربيا في انحراف إبرة مغناطيسية كانت موجودة بجواره. كانت أولى التجارب قد أجريت في أثناء محاضرة، وقد كتب يقول إن التجربة لم تحدث انطباعا كبيرا في القاعة. لكن أنباء التجربة أحدثت انطباعا قويا لدى فاراداي، فبدأ يجري التجارب على هذه الظاهرة. لكن لسوء الحظ، تعرض فاراداي أثناء ذلك لسخط واستهجان ديفي، الشخص الذي كان يحترمه بشدة.

ربما يكون ويليام هايد ولاستون (الذي ارتبطت شهرته بالبلاديوم) هو أول من قرر أن المجال المغناطيسي الناشىء عن التيار لم يكن موجها ناحية السلك أو عكس ذلك، بل يتحلق حول السلك. وقد راهن على أن سلكا يمر به التيار يمكن أن يدور حول سلك آخر ينقل التيار الكهربي، وأصبح الرهان مفتوحا للجميع. وفي أبريل العام 1821، حاول ولاستون وديفي إجراء التجربة، لكنها فشلت. كان فاراداي قد سمعهم يناقشون النتائج لكنه لم ير الجهاز المستخدم. كان كل من يقدر على مغادرة لندن في الصيف يغادرها كما فعل ولاستون وديفي، بينما بقي فاراداي للعمل في مخطط تاريخي، كان مطلوبا منه أن يكتبه عن الكهرومغناطيسية. وفي أثناء الكتابة كان يقوم بإعادة التجارب المنشورة ليتأكد من النتائج، ويجري بعض التجارب الخاصة به بما في ذلك بيان دوران السلك الناقل للتيار حول مغناطيس، أو دوران مغناطيس

حول السلك الناقل للتيار. وعندما نشر نتائجه لم يُشِر إلى ولاستون. وفي أكتوبر عاد ديفي وولاستون.

احتج أصدقاء ولاستون لدى ديفي حول ما افترضوه اغتصابا لأبحاث ولاستون، بذل فاراداي جهدا عظيما في أبحاثه التي نشرت بعد ذلك ليشير إلى أسبقية ولاستون فيما يتعلق بهذه الظاهرة. ويبدو أن هذا قد هدّأ الخواطر وأعاد الريش المنفوش إلى حالته إلا في أمر واحد: عندما قام أصدقاء فاراداي بتقديم طلب لانتخابه في الجمعية الملكية بعد بضع سنوات ـ أمر ديفي فاراداي بسحب الطلب. أجاب فاراداي بأنه لم يتقدم هو بالطلب، وأن أصدقاءه لن يسحبوه، قال ديفي عندئذ إنه سيسحبه بنفسه. عندها أجاب فاراداي بأنه لا يشك في أن ديفي سيقوم بما يراه في مصلحة الجمعية. (لابد أن نشير هنا إلى أن هذا الحادث كان الوحيد الذي وجدنا أن فاراداي يرد فيه بجفاء على ديفي).

كانت هذه مجموعة من الظروف غير المواتية في كل الأمور، ففاراداي كان إنسانا على خلق حتى أنه يستحيل أن نصدق أنه يفعل أي شيء غير أخلاقي عامدا، والتصريح بأنه قام بارتكاب ذلك أمر مفزع. ويمكن أن نتقبل فكرة أن أناسا عديدين عندهم الشواهد نفسها يمكن أن يصلوا النتيجة نفسها مع الاحتفاظ بميزة الإدراك المتأخر، وأن السبق في الإنجاز لا يعني بالضرورة السبق المطلق في الخلق. وفي الحقيقة، على الشاطئ الآخر للأطلنطي، وفي الولايات المتحدة حيث كان معظم الأوروبيين ينظرون إليها كحالة ركود، استعرض جوزيف هنري التداخل بين الكهرباء والمغناطيسية، وفي عدم وجود أي عون من ولاستون أو ديفي أو فاراداي. لكن فاراداي قد عانى من هذه الواقعة، وتعرض كذلك للهجوم من جبهات أخرى. كانت الذرات في نموذج بيرزيليوس لها قطبان، أي عليها شحنة موجبة وأخرى سالبة لكنهما معزولتان. لم يكن ذلك ليتوافق مع وجهة نظر فاراداي في أن الشحنة تنتقل بواسطة أيونات موجبة وأيونات سالبة فقط. ومن هنا أعلن بيرزيليوس خطأ نتائج فاراداي. وعندما افترض فاراداي أن القوة الكهربية هي مجال (أي أنها قوة محسوسة خلال الفراغ ولا تحتاج إلى وسيط فيزيائي) لم يأخذ أحد هذا الكلام مأخذ الجد. وقد أصيب فاراداي بانهيار عصبي في العام 1839، متأثرا كذلك بتسمم زئبقي. وقد

أمضى السنوات الخمس التالية يهتم بالشؤون الإدارية أكثر من التجارب.

وفي العام 1845 طور ويليام طومسون، وهو مستقبلا لورد كيلفن، معالجة رياضية لخطوط فاراداي الحدسية غير المادية للقوى. جدّد هذا الأمر نشاط فاراداي، ودفعه لإجراء اختبارات على تأثير المجال الكهرومغناطيسي في الضوء ودراسة المواد البارامغناطيسية والديامغناطيسية وظواهر فيزيائية أخرى. وفي النهاية، تمكن جيمس كلارك مكسويل من بناء نظرة محكمة عن المجال على أساس أبحاث فاراداي، لكن فاراداي لم يستطع تتبع التوصيف الرياضي لماكسويل لأنه كان في حالة أفول إبداعي، ركز جهوده في التدريس وفي محاضرات عيد الميلاد للأطفال. ومات في سن 71 في منزل كانت الحكومة البريطانية قد منحته إياه اعترافا بفضله.

وفي أثناء فترة الإنجازات العظمى لفاراداي كان نشاط ديفي قد قلّ وأصبح قانعا بدور الراعي الأكبر للكيمياء، وكان يعمل مع ولاستون كسكرتيرين مناوبين للجمعية الملكية، ثم أصبح رئيسا لها بعد وفاة جوزيف بانكس (على رغم أن بانكس كان يعتقد دائماً أن ديفي «مفعم بالنشاط والحيوية أكثر من اللازم» لشغل منصب الرئيس) [21]. ومع أنه كان يقوم أحيانا ببعض البحوث، إلا أن مسيرته العلمية كانت في أفول. وقد اخترع مصباحا للمناجم لا يتسبب في انفجار الغاز الذي كان يتسبب في الكوارث المأساوية المتكررة في ذلك الوقت. ظل زواج ديفي كذلك مصدرا للإحباط بالرغم من أنه قد اكتشف هو والليدي ديفي أنهما يمكن أن يستمرا على نحو مقبول إذا قلّلا من أزمات وجودهما معا إلى الحد الأدنى. أصبح من عادة ديفي أن يذهب في رحلات صيدطويلة وحده بينما كانت الليدي ديفي ترفه عن نفسها بواسطة «جرعة صباحية من روم معتق في لبن طازج»[22].

وقد كتب ديفي في أواخر أيامه عملين تأمليين بعيدين عن الكيمياء، عناوينهما: «السالمونيا» أو «أيام الصيد بالصنارة»، و«المواساة في الأسفار». ومع أن حياة ديفي توصف بأنها «تراجيدية» إلا أن أفضل وصف لها أنها «حزينة إلى حد ما». فقد أنجز الكثير في حياته، وعندما وافته المنية كان على سريره والوقت ليل، وأخوه إلى جواره. وقد عاش قرابة 50 عاما.

ومن بين الإنجازات الكثيرة المنسوبة لديفي، لم ندرج اثنين بالتحديد ـ توصيف الكلور واليود كعناصر ـ ذلك لأن فضل اكتشافهما موضع جدل.

وتختلف الروايات حول ذلك تبعا لموقع المتحدث وعلى أي جانب يقف من القنال. كان المجادل الآخر للحصول على شرف هذه الاكتشافات هو كيميائي فرنسا الأول في ذلك الوقت، جوزيف لويس جاي لوساك.

جوزيف لويس جاي لوساك

ولد جاي لوساك في السنة نفسها التي ولد فيها ديفي، وكان نتاجاً للعصر الثوري. كان والده محاميا ومدعيا عاما وكان يأمل أن تجرى الإصلاحات في ظل الملكية. مع أن هذا الموقف يعتبر في الأصل ليبراليا، إلا أن هذا الأمل أصبح ينظر إليه كشيء رجعي مع زحف الثورة. وقد اعتقل الأب في النهاية ولم يطلق سراحه إلا بعد سقوط روبسبير. صادفت الأسرة أوقاتاً عصيبة، إلا أنها تمكنت من تعليم أكبر أبنائها الخمسة ـ جوزيف لويس. وقبل أن يبلغ السادسة عشرة، وقبل عام من إطلاق سراح والده من السجن، تلقى منحة حكومية للالتحاق بالمدرسة البوليتكنيكية.

كان جاي لوي لوساك مثل ديفي، فتى ريفيا. ولأنه كان دائما في حاجة إلى نقود، فإنه كان يتشبث جاهدا بالقليل الذي في حوزته. أخذ يستمع إلى محاضرات في الكيمياء والفيزياء في المدرسة وكذلك في التعدين والأشغال العامة والميكانيكا والرياضيات والرسم. ومن المحتمل أن يكون قد استمع لمحاضرات فوركروي وفاكولين وجيوتون دي مورفيه وربما بيرثوليت (الذي رافق الحملة الفرنسية إلى مصر على الأقل بعضا من هذا الوقت). وعندما عاد بيرثوليت سأل أحد الأصدقاء أن يرشح له مساعدا من طلاب المدرسة البوليتكنيكية، فرشح له الصديق جاي لوساك ليعمل مساعدا له في معمله بالمدرسة. عمل جاي لوساك عند بيرثوليت، واستغل سمعة بيرثوليت ليتخطى متطلبات الحضور.

طلب بيرثوليت من جاي لوساك أن يعمل في بيته الريفي في أركيل، نتيجة للانطباع الذي تركه هذا الشاب بموهبته الكيميائية. ولابد أن تلك كانت خبرة مثيرة وملهمة لجاي لوساك الشاب. كان لا بلاس يملك بيتا في الجوار، وكان الكثير من الكيميائيين يأتي للمعمل لتبادل الأحاديث. وفي أثناء عمله في أركيل قام جاي لوساك بأول مغامرة له مع البالون (أي الهواء الساخن)، وهي الخبرة التي كان مقدراً لها أن تؤثر في أبحاثه لاحقا.

عمل جاي لوساك لدى بيرثوليت في أركيل في أثناء فترة إمبراطورية نابليون، وعندما هزم نهائيا تقاعد بيرثوليت. ومع أن جاي لوساك قد استفاد بطريق غير مباشر من رعاية نابليون، إلا أنه لم يكن مرتبطا قط بالبلاط الإمبراطوري، ولذا فإنه كان مناسبا للعمل بسهولة في ظل النظام الملكي البوربوني العائد. قاوم جاي لوساك خطط والده للزواج بناء على حسابات، وبدلا من ذلك تزوج من بائعة وجدها تقرأ كتابا في الكيمياء كانت تخبئه المنضدة. كانت متعلمة تعليما جيدا وتجيد القراءة بالإنجليزية والألمانية، وكان الزواج سعيدا وأنتج خمسة أطفال. إلا أنه من حين لآخر كانت العلاقة بينهما تعاني من مساوئ مالية، كانت تميز الكثير من عائلات الكيميائيين الأوائل ، فقد كان يبدو دائما أن بعض المال ينفق على الأجهزة والتجارب بينما كانت الحاجة إليه شديدة في موضع آخر.

كانت سمعة جاي لوساك طيبة كمعلم في المدرسة البوليتكنيكية قادر على الشرح والتوضيح. ويدل محتوى إحدى محاضراته، والذي كان يحتفظ به زائر من الولايات المتحدة، على المحتوى الحديث نفسه الذي يدرسه طلاب السنوات الأولى في الكيمياء العامة تقريباً، فقد كان يضم موضوعات مثل قانون النسب الثابتة والأحماض والقواعد، والفلزات والأملاح والكيمياء العضوية.

كان جاي لوساك، مثل ديفي، واحدا من السلالة الجديدة للكيميائيين المحترفين، لكن على عكس ديفي، فإن جاي لوساك كان منسجما تماما مع العصر التعاوني الجديد. فقد كانت الكيمياء تكتسب اتساعا معرفيا لدرجة أن شخصا واحدا يمكن بصعوبة أن نتوقع له خبرة في كل الكيمياء. ومع أن بعض الكيميائيين كانوا قد عملوا في فرق من قبل، إلا أن جاي لوساك قد جعل من هذا الأمر روتينا. وعندما جاءت الأنباء عن عزل ديفي للبوتاسيوم والصوديوم بواسطة بطارية فولتية، فقد أمر نابليون بإعداد بطارية فولتية أكبر في المدرسة البوليتكنيكية. وقد تولى جاي لوساك ومعاونه جاك ثينارد أمر هذه البطارية.

لويس جاك ثينارد

كان لويس جاك ثينارد ابن فلاح قروي، تلقى أول تعليمه على يد قسيس

محلي. ولما تيقن أهله من أنه يملك موهبة، بذلوا الجهد لتأمين تعليمه فيما بعد، فأرسلوه إلى باريس في نهاية المطاف للاستفادة من فرص التعليم هناك. واظب على حضور المحاضرات العامة لڤاكيلان وفور كروي، التحق بعمل في بيت ڤاكيلان كصبي لغسل الزجاجات والأطباق. ولابد أنه قام بعمله بصورة جيدة لأن ڤاكيلان في وقت وجيز جعل منه مساعداً له أثناء المحاضرات. ثم في النهاية عين ثينارد معيداً في المدرسة البوليتكنيكية، وأصبح على الطريق، فعندما تقاعد ڤاكيلان من الكوليج دي فرانس عين ثينارد خلفا له. تزوج واستمر نجمه في صعود في المجتمع العلمي الأكاديمي. (أصبح اسم القرية التي ولد فيها لا لوبتيرLa Louptiére ، لا لوبتير ثينارد بعد وفاته). كان تجريبيا متمكنا استطاع تحضير فوق أكسيد الهيدروجين لأول مرة، وقد كتب مرجعا طبعت منه ست طبعات، وترجم إلى الألمانية والإيطالية والإسبانية، كما ترجم جزء التحليل الكيميائي كذلك إلى الإنجليزية.

وهكذا كان جاي لوساك وثينارد، مثل ديفي، ذكيين محبين للاطلاع وقادرين على الإنجاز، ومثله كانا يعتقدان أنهما أول من اكتشف الكلور واليود.

حضر الكيميائي السويدي شيلي (Scheele) الكلور لأول مرة، وهو غاز سام أصفر مخضر. وكان يسمى حمض الأوكسي مورياتيك، لأنه كان يحضر من تفاعل ثاني أكسيد المنجنيز مع حمض الموريانيك (الهيدروكلوريك). وتبعا لرأي لافوازييه، فإن حمض الهيدرو كلوريك لابد أن يحتوي هو الآخر على الأكسجين لأنه حمض. ولهذا فقد كان الاعتقاد أن حمض الأوكسي مورياتيك لابد أن يحتوي على الكثير من الأكسجين. لكن الأكسجين في أي مركب تقريبا يتحد مع الكربون المسخن لدرجة الاحمرار ليكون ثاني أكسيد الكربون، وعندما مرر جاي لوساك وثينارد غاز حمض الأوكسي مورياتيك فوق الكربون المسخن لدرجة الاحمرار، لم يجمعا مطلقا ثاني أكسيد الكربون. أدى ذلك إلى تشككهما في أن حمض الأوكسي مورياتيك لا يحتوي على أكسجين في آخر الأمر، وأنه يمكن أن يكون عنصراً. كان بيرثوليت في هذا الوقت لايزال بمنزلة راعيهما، وكان لا ينصح بأي استنتاجات راديكالية. ونتيجة لذلك فقد كتبا التقرير التالي:

لا يتفكك حمض الأوكسي موريياتيك بواسطة الفحم، ويمكن افتراض أنه جسم بسيط... انطلاقا من هذه الحقيقة. ويمكن تفسير الظاهرة التي يبديها بشكل جيد باستخدام هذه الفرضيات، لكننا لن نبحث في الدفاع عن هذا [23].

قام ديفي مستقلا بإجراء الكثير من التجارب لاستخلاص الأكسجين من حمض الأوكسي موريياتيك، وقد وجد في تقرير جاي لوساك وثينارد تعضيدا لاستنتاجاته التجريبية المؤقتة. فذكر بكل ثقة الطبيعة العنصرية للكلور. وقد نسب فضل الاكتشاف عموماً لديفي، الأمر الذي يفسر الشعور بالحساسية لهبوط المواطن الإنجليزي ديفي على الشواطئ الفرنسية ليحصد الجائزة من الإمبراطور الفرنسي، وليغتصب أبحاث الكيميائيين الفرنسيين عن مادة أخرى اكتشفت في فرنسا حديثا، وهي اليود. وللسخرية من الضجة التي أعقبت ذلك، فإن المكتشف الحقيقي لليود لم يكن ديفي ولا جاي لوساك، وإنما ابن أحد منتجي ملح بيتر، واسمه بيرنارد كورتوا.

بيرنارد كورتوا

كان والد كورتوا ينتج النيتر (ملح بيتر أو نترات البوتاسيوم) من الطحالب البحرية بمعالجتها بالأحماض القوية. وقد لاحظ كورتوا أنه إذا أضيف فائض من حمض الكبريتيك تتصاعد سحب من أبخرة بنفسجية فوق المحلول لتتكثف بعد ذلك على شكل بلورات داكنة لامعة. وقد اختبر كورتوا الخواص الكيميائية للمادة الجديدة على مدى الأشهر القليلة التالية وحضّر بعض مركباتها. غير أن كورتوا كان مشغولا بالمجهود الحربي (النيتر أحد مكونات البارود)، وربما يكون قد شعر بالتوتر المالي الذي تسببه أبحاثه، لذا فقد أخبر اثنين من الكيميائيين الآخرين بموضوع البلورات، وطلب منهما أن يتمما البحث.

وقد قاما بذلك، واستخدم أحدهما ذلك كأساس لطلبه الالتحاق بالمعهد الفرنسي. أعطت لجنة النظر في الطلبات عينة إلى جاي لوساك، كما أعطت عينة أخرى إلى ديفي. ومع أن ديفي كان على علم بالأبحاث المسبقة في فرنسا حيث كانت المادة تعرف باسم إيود (iode) نسبة إلى اللون البنفسجي لبخاره، إلا أنه أعلن أن المادة الجديدة ومركباتها يمكن أن تكفي العديد من الكيميائيين، وأن الكيميائيين الفرنسيين يمكن أن يستفيدوا من أشياء أخرى.

وأثناء عمله في الفندق بمعمل صغير متنقل، أقنع ديفي نفسه بأن المادة الجديدة إنما هي عنصرله خواص كيميائية مماثلة لخواص الكلور، وأعلن أن اسم المادة الجديدة هو (Iodine) اليود.

وربما تكون تصرفات ديفي موضع تساؤل من الناحية الأخلاقية، لأنه في ذلك الوقت، ولسنوات كثيرة لاحقة، كان اقتحام مجال عمل كيميائي آخر يعد أمرا سيئا. لكن تنظيم مثل هذه الحدود كان يتطلب احتراما متبادلا. فإذا تم حرقها ولو مرة واحدة أصبح من المستحيل استعادتها. لم تكن تصرفات ديفي تسمح بإعادة النظر في الجو السائد أثناء التنافس العلمي يومها. ويمكن القول إن السلوك اليوم أكثر مواءمة للعلوم، لأن التنافس يعزز العمل الجاد. لكننا نشهد لحظات يدفع فيها التنافس السائد إلى النشر السابق لأوانه وإطلاق الأفكار غير الناضجة أو غير المكتملة والبيانات غير الموثقة.

قرر جاي لوساك هو الآخر ـ مدفوعا في ذلك بالسباق المحموم ـ أن اليود عنصر، وأعلن ذلك الرأي في مقال صحافي ظهر يوم الأحد 12 من ديسمبر 1814. أما نتائج ديفي فقد أذيعت في خطاب قُرِىء يوم الاثنين 13 من ديسمبر 1814، ويبدو أن ذلك يمنح جاي لوساك السبق بيوم واحد، غير أن خطاب ديفي كان مؤرخاً في 11 ديسمبر. وقد قال جاي لوساك فيما بعد أنه قد سمع متلقي الخطاب، وهو يعتذر لديفي لكونه قرأ الخطاب يوم الاثنين متعللاً بأنه تسلم الخطاب في وقت متأخر من ذلك اليوم.

منح كورتوا أخيرا جائزة قدرها 6000 فرنك من المعهد الفرنسي، فترك أعمال ملح بيتر وحاول التكسب من بيع اليود ومركباته، لكنه فشل ومات فقيرا في سن 61. جاء المرشح للوظيفة الشاغرة في المعهد الفرنسي والذي كان قد أعطى عينات اليود إلى ديفي وجاي لوساك جاء ثالثا، بينما كان ديفي أول الاختيارات بواسطة اللجنة.

وهكذا في بداية القرن التاسع عشر جعلت نجاحات النظرية الذرية وانهمار العناصر الجديدة كالمطر الغزير، جعلت الأمر يبدو وكأن التنوير العلمي قد بدأ يؤتي أُكله منّا من السماء. لكن مع انهمار هذا المطر، جاءت الغيوم الداكنة والتي أشارت إلى أن الطبيعة قد لا تكون بهذه البساطة في نهاية الأمر.

مشاكل الذرة

لم يقصر جاي لوساك تجاربه على البطاريات الفولتية واليود فقط، فقد درس الغازات كذلك وحلق باهتماماته عاليا معها. وقد سجل في أحد الأيام ارتفاعا قياسيا للبالونات المأهولة إذ ارتفع حتى 4 أميال فوق سطح الأرض. وفي أثناء محاولة أخرى لتسجيل ارتفاعات أعلى بالبالون قام جاي لوساك بالتخلص من الحمولة من أدوات ومقاعد حتى يخف وزن البالون. لم يكن أحد قد حذر السكان المحليين في المنطقة التي سقط فيها المقعد، لذلك فقد اعتبروه إشارة من السماء، لكنهم لم يدركوا المقصود منها[24]. أحضر جاي لوساك معه قارورة مملوءة بالهواء الذي جمعه من الطبقات العليا (وهو في البالون) وأعطاها لثينارد ليقوم بتحليلها ومقارنتها بهواء باريس وذلك في باكورة تعاونهما.

كان جاك ألكسندر سيزار تشارلز من الرواد الفرنسيين للطيران بالبالون، لم يتلق تعليما رسميا، وكان مدرسا حرا للفيزياء. كانت فكرة تشارلز أن يزيد مقدرة البالون على الارتفاع وذلك بملئه بالهيدروجين وليس بالهواء الساخن، وكسوة البالون بالمطاط ليمنع تسرب الهيدروجين. استخدم الهيدروجين المحضر من تفاعل حمض مع الحديد، وقد تطلب الأمر ربع طن من الحمض ونصف طن من الحديد لتوليد ما يكفي من الغاز. ظل البالون معلقا في الهواء حوالى 45 دقيقة، وسافر لمسافة ليست بعيدة عن باريس. ولما كان الناس لا يدركون كُنه البالون، فقد قاموا بمهاجمته وتحطيمه عندما هبط إلى الأرض.

وقد قام جاي لوساك كذلك بتجارب على الغاز ات في مستوى سطح الأرض. وفي إحدى هذه التجارب اكتشف أن حجم الغاز يتمدد خطيا مع ارتفاع درجة الحرارة. كان دالتون هو الآخر قد لاحظ ذلك، من هنا فإن الإنجليز يشيرون في بعض الأحيان إلى هذه الظاهرة باسم قانون دالتون أو قانون دالتون ـ جاي لوساك. لاحظ تشارلز من جانبه أيضا تمدد الغازات، ولكنه لم يكن يعتني بتجفيف الغازات. لذا فقد وجد أن النتائج غير متطابقة ولم ينشر هذا البحث. لكن عندما قام جاي لوساك بنشر نتائجه الخاصة أشار إلى أبحاث صديقه رائد البالون تشارلز. وقد وقع أحد المؤلفين الإنجليز، وهو تيت، على هذا المرجع فقرر أن ذلك يعطي تشارلز الأولوية، ولذلك

فقد أطلق على هذه الملاحظة قانون تشارلز (مع أن تشارلز نفسه كان يعتقد أن هذه ظاهرة كاذبة). ويعرف هذا القانون اليوم في الولايات المتحدة، عن صدق، باسم قانون تشارلز، إلا أنه يشار إليه باسم قانون تشارلز ـ جاي لوساك أحيانا.

التقى جاي لوساك بالعالم الألماني ألكسندر فون هومبولت أثناء انعقاد إحدى الندوات في أكريل، كان ألكسندر فون هومبولت قد اختبر حجوم الغازات التي يتحد بعضها مع بعض أثناء التفاعل الكيميائي. وقد تعاونا معا في دراسة تفاعل الهيدروجين مع الأوكسجين، واكتشفا أن حجمين بالضبط من الهيدروجين يتحدان مع حجم واحد من الأكسجين، فيتقلص الحجم بمقدار حجم واحد من الماء (كبخار). أجرى جاي لوساك تجارب على اتحاد الغازات وقام بإعادة حسابات النتائج المنشورة من قبل، وقد لاحظ وجود نسبة عددية بسيطة من أعداد صحيحة بين حجوم الغازات. وقد اكتشف جاي لوساك في إحدى تجاربه العويصة أن حجما واحدا من النيتروجين يتحد مع حجم واحد من الأكسجين ليتكون حجمان من أكسيد النيتريك، وظل الحجم الكلي كما هو لم يتغير.

وحتى ندرك مدى صعوبة هذه المشكلة فلنستعرض الأفكار الآتية. أدت أفكار دالتون عن التنافر المتبادل بين الذرات من النوع الواحد إلى الاعتقاد بأن الذرات إما أن تتحد بنوع آخر وإما أن تظل مفردة، بمعنى أن الذرات المتشابهة للعنصر نفسه لا تكوّن أزواجا مع بعضها البعض. فإذا مثلنا ذلك بجعله حفل دالتون، فإن السيدات يأتين إلى الحفل فرادى ويتوزعن حول الغرفة ويأتي الرجال فرادى كذلك ويفعلون الشيء نفسه. وعندما تصدح الموسيقى يلتقى أزواج الرجال مع السيدات فيتقلص الحجم المشغول من الغرفة. لكن في حفل جاي لوساك (اتحاد الأكسجين بالنيتروجين) لم يتقلص الحجم.

كانت هناك طريقتان لتفسير التعارض بين التوقعات النظرية لدالتون والنتائج التجريبية لجاي لوساك: جاي لوساك على خطأ وقياساته خاطئة ـ وهو التفسير الذي فضله بعض الكيميائيين الإنجليز ـ أو أن دالتون على خطأ ونظريته خاطئة ـ وهو التفسير الذي اختاره بعض الكيميائيين الفرنسيين. لكن، كما اتضح فيما بعد، لم تكن الإجابة واحدة من هاتين.

كانت الإجابة تحت أنوفهم، لكن لم تكن الأنوف إنجليزية ولا فرنسية. كانت الأنوف إيطالية، وهي أنف لورنو رومانو أميديو كارلو أفوجادرو دي كوريجوا إي دي كيريتو.

أميديو أفوجادرو

ولد من سلالة محامين كهنوتيين (الاسم أفوجادرو نفسه ربما يكون قد جاء من الكلمة الإيطالية أدفوكاتو)، وقد حصل أولا على درجة في القانون لكنه أصبح بعد ذلك مأخوذاً بالإثارة التي أحدثتها بطارية فولتا، فبدأ في إجراء بحوث هو وأخوه. كان ذلك في بداية القرن التاسع عشر حيث كان كثير من الناس يجرون بحوثا على بطارية فولتا وينشرون أبحاثهم في أفضل المجلات. لذلك لم يتلق بحث أفوجادرو ـ الذي ينص على أن الحجوم المتساوية من كل الغازات تحتوي على عدد متساوٍ من الجزيئات (تحت الظروف نفسها من الضغط ودرجة الحرارة) ـ لم يتلق هذا القانون هو الآخر العناية اللازمة.

ويمكن فهم مضمون قانون أفوجادرو بشكل أفضل إذا استخدمنا مصطلحات المول، على الرغم من أن كلمة مول لم تستخدم إلا مع بداية القرن العشرين. والمول الجزيء الجرامي من الجزيء بالإنجليزية موليكيول) هو وحدة قياس الجسيمات التي لها حجم قريب من حجم الذرة، تماما مثل الدستة، وتتكون من 12، والجروس، ويتكون من 144، والمول هو تقريبا ستمائة بليون تريليون. وهو رقم يمكن عده من الأشياء، ولكن لصغر الجزيئات كان على المول أن يكون رقما هائلا ليعكس عينة مناسبة من المادة. فالدستة من ذرات النحاس أصغر من أن ترى، أما المول من النحاس فيمكن وضعه في مكعب يقل ضلعه قليلا عن البوصة. وحجم المول من الغاز في درجة حرارة الغرفة وتحت الضغط الجوي العادي هو 22 لترا تقريبا أو خمسة جالونات. وتبعا لقانون أفوجادرو فإن مولا من جزيئات النيتروجين (التي تتكون من ذرتين من النيتروجين) يتحد مع مول من جزيئات الأكسجين (المكونة من ذرتين من الأكسجين) لتعطي مولا من جزيئات أكسيد النيتريك (المكونة من ذرة نيتروجين واحدة وذرة أكسجين واحدة).

كان المفهوم هو الجزء المفقود من اللغز. ففي حفلة أفوجادرو جاءت

السيدات أزواجا وجاء الرجال أزواجاً كذلك. وعندما صدحت الموسيقى تبادل الجميع رفاقهم. ولأن عدد الأزواج لم يتغير، فإن الحجم الذي يشغلونه ظل كما هو. لكن تعارضت فرضية أفوجادرو مع نظرية الميل الكهربية التي اقترحها بيرزيليوس المحترم. ففي نظرية بيرزيليوس الأضداد فقط هي التي تتجادب ـ وليست ذرات العنصر نفسه. كذلك تعارضت فرضية أفوجادرو مع صيغ دالتون المثالية البسيطة. وباختصار لم ترحب بها الأوساط العلمية. وبذلك أصبح هناك دالتون بذراته وجاي لوساك بحجومه المتفاعلة وأفوجادرو بجزيئاته، ولم يتمكنوا من الالتقاء معا في نقطة. لم يكن العصر وقتها عصر تناغم وتعاون.

كان العصر عصر القومية والحقوق الشخصية، وقد كانت هذه القوى في مستوى قوة أي دين كائنا ما كان. أصبحت الجرائم والفظائع التي ارتكبت باسم الدين ترتكب من أجل الحرية ودفاعا عن الراية. طالب الناس بتحديد نصيبهم وأن يكونوا مواطنين في أمتهم. وفي العام 1848 كانت هناك ثورات في فرنسا وفيينا والبندقية وبرلين وميلانو وبارما وولاية التشيك وروما، وتمكنت أمم البلقان من التخلص من الإمبراطورية العثمانية وتحرير الأرمن المسيحيين من الاضطهاد الفظيع، أصدر ماركس وإنجلز المانفيستو الشيوعي. وقامت إليزابيث كادي ستانتون في الولايات المتحدة تطالب بحق المرأة في الانتخاب وتنازلت المكسيك عن لوس أنجلوس للولايات المتحدة.

لكن بعد أن هدأت الاضطرابات السياسية جاءت فترة من الاستقرار والنجاحات والنمو الاقتصادي. كانت هناك السكك الحديدية والبواخر والتلغراف، في العام 1860 نظيم مؤتمر دولي في محاولة لتوحيد وترتيب التعارضات في المفاهيم الكيميائية حول الذرة والجزيء والقلوية والميل. كان المؤتمر في الأغلب غير موفق، فلم يستطع أن يقدم إلا القليل من الحلول. غير أنه كان هناك استثناء واضح: مساهمة الثائر ستانيسلاو كانيزارو.

ستانيسلاو كانيزارو

شبَّ كانيزارو ـ الابن الأصغر من عشرة أطفال ـ في أسرة من نبلاء

صقلية كانت تدعم النظام الملكي لأسرة بوربون في نابولي. غير أنه عندما حدثت انتفاضة ضد الملكية فإن كانيزارو انضم إلى جانب الثوار. وعندما استدارت الثورة ضد الانتفاضات، هرب إلى فرنسا. واستمر في فرنسا يمارس العمل في الكيمياء ويقوم بالتدريس في الإسكندرية وجنوا وباليرمو وفي روما أخيرا. كان كانيزارو راغبا في توصيل التطور المنطقي والواضح في الموضوعات التي يدرسها إلى تلاميذه. وقد وجد أنه لو تقبلنا قانون أفوجادرو فإن كل الأفكار حول الذرات والجزيئات وحجوم الغازات المتفاعلة تصبح في مكانها الصحيح. وقد شارك في المؤتمر الدولي في كارلسرو بألمانيا العام 1860، حيث دافع عن مفاهيم ابن بلده أفوجادرو. لاقت دفاعاته آذانا صماء في الغالب، لكن في آخر يوم للمؤتمر قام أحد المشاركين الإيطاليين بتوزيع نسخة من مطوية كان كانيزارو قد كتبها موضحا منهجه المعتمد على قانون أفوجادرو. كان العرض الواضح التدريجي والمنطقي قادرا على شق طريقه إلى عقول البعض الذين كانوا على استعداد لتقبل التغيير. قرأ هذه المطوية لوثر ماير ـ أحد أبطالنا في المستقبل ـ وهو في طريق عودته إلى بيته، ووصف ما حدث له بأنه كالقشور أخذت تتساقط من فوق عينيه. أما المشارك الآخر الذي اقتنع بهذه الآراء فكان مندليف، الذي توصل للجدول الدوري للعناصر. كان عالم الكيمياء يتجه إلى التغيير.

فيس أوائل القرن التاسع عشر قام الكيميائيون بالبناء على الأساسات التي وضعها لافوازييه.م اكتشفوا نظريات جديدة قوانين جديدة وعناصر جديدة ذات اليمين وذات الشمال. ولما وقع ذلك أصبح لديهم الأدوات ـ العناصر والذرات والجزيئات ـ فانطلقوا في كل اتجاه. ومن هذا المنطق، نما مجال الكيمياء بسرعة، واتسع بشكل كبير مما أدى إلى أن يضيق الكيميائيون من تركيزهم لينصب على مجالات محددة متخصصة لدراساتهم حتى تظل مثمرة. أصبحت هذه المجالات معروفة كتخصصات فرعية، هي الكيمياء العضوية، والكيمياء غير العضوية والكيمياء الفيزيائية، والكيمياء الحيوية والكيمياء التحليلية. وسنقوم بمتابعة كل رافد يتشعب منها. لكننا، مع ذلك، سنبدأ بعد كل الإضافات العجيبة إلى قائمة لافوازييه، بواحدة كان مطلوباً حذفها: الكالوري (السعر أو الوحدة الحرارية).

11

من ١٨٤٨ إلى ١٩١٤
الديناميكا الحرارية : حرارة المادة

- القانون الأول والثاني والثالث للديناميكا الحرارية
- الأنتروبيا
- الميكانيكا الإحصائية
- مبدأ لوشاتيليه

كان واضحا دائما أن الحرارة موجودة في التفاعلات الكيميائية كأحد نواتجها (كما في الاحتراق) أو أحد مكوناتها (كما في الطهو). لكن ما طبيعة الحرارة؟ وكيف يمكن قياسها؟ إنها أسئلة مثيرة، لكن الكيميائيين قبل القرن التاسع عشر كانوا في شغل بأشياء أخرى، ولم يبذلوا جهدا كبيرا في إيجاد الإجابات. غير أنه مع الثورة الصناعية اتضح أن حرارة الاحتراق يمكن أن تعطي شغلا- شغلا كثيرا - وانتقل السؤال عن الحرارة إلى مقدمة الأحداث.

الحرارة

اعتنق لافوازييه فكرة أن الحرارة شيء مادي (من المحتمل ألا يكون لها وزن وهي في ذلك تماثل الفلوجستين) يسري من الأجسام الساخنة إلى الباردة، وقد أطلق لافوازييه على هذه المادة كالوريك. وقد ساعد معاونه لابلاس الأصغر بإجراء قياسات

لسريان الحرارة في التفاعلات الكيميائية وفي التنفس. ووجد دالتون أن تفسير الحرارة على أنها مادة أمر مقبول بشكل جيد، لكن كانت هناك مدرسة فكرية أخرى. إذ عدَّ بعض الكيميائيين الحرارة شكلا من أشكال الحركة. ولهذه النظرية ـ نظرية الحركة ـ جذور عميقة، فقد ناقشها بويل ونيوتن وفسرها فرانسيس بيكون بشكل شاعري حيث كتب «الحرارة... هي حركة ليس إلا... مثابرة ومكافحة ومجاهدة أبدية... فمنها تنطلق روح النار...»[1].

دأب هؤلاء المؤيدون لنظرية الحركة على إثبات أن الحركة الميكانيكية يمكن أن تتحول إلى حرارة. وكان همفري ديفي الشاب واحدا من أوائل الذين قاموا بذلك. فقد وصف تجربة أجراها في بداية القرن التاسع عشر، حيث تكون الماء السائل من احتكاك قطعتي ثلج ببعضهما في صندوق معزول بواسطة أداة مثل آلية الساعة. كان الماء دليلا على تحول الحركة إلى حرارة صهرت بعض الجليد. أحاطت التساؤلات بمصداقية هذه التجربة. كان يمكن للحرارة التي صهرت الجليد أن تأتي من الوسط المحيط. ولو كان ديفي ذكيا بدرجة كافية واحتفظ بالنظام كله في درجة تجمد الماء، فإن الماء المتكون نتيجة الاحتكاك كان سيتجمد ثانية. جاء العرض الأكثر إقناعا من آخر صاحب عمل اشتغل ديفي لحسابه: مؤسس المعهد الملكي بنيامين طومسون، الكونت رمفورد.

بنيامين طومسون، الكونت رمفورد

وُلد رمفورد في مستعمرة مساشوستس، وبدأ سيرته صبيا عند صاحب دكان. وكان قارئا جيدا والتحق بكلية هارفارد، وتزوج من أرملة ثرية تكبره بأربعة عشر عاما. رُزقا طفلا واحدا وانفصلا قبل إعلان استقلال الولايات المتحدة بعام واحد. وقد يكون الخلاف بين الزوج والزوجة خلافا سياسيا لأن رمفورد اتخذ جانب الإخلاص في حرب استقلال الولايات المتحدة (يقول البعض إنه تجسس لمصلحة البريطانيين). وهاجر بعد الثورة إلى أوروبا، وهناك استمتع بحياة عسكرية ناجحة وقام بأعمال تتعلق بالعتاد الحربي في بافاريا، وقد شكرته حكومة بافاريا بمنحه لقب «كونت». ولأسباب غير معروفة ـ لكنها قد تتعلق بالحنين ـ اتخذ اسم كونت رمفورد، ورمفورد

هو الاسم القديم لـ «كونكورد» في مساشوستس.

وفي أثناء عملية إثارة انطباع لدى البافاريين بخبرته في العتاد الحربي تأثر رمفورد نفسه كثيرا بالمدفعية البافارية، وقد وجد أن عملية ثقب المدفع تنتج كميات هائلة لا نهائية من الحرارة. ففكر إذا كانت الحرارة مادة ـ كالوريك ـ تسري من المثقاب إلى فلز المدفع فإنها كانت ستتوقف عندما تنتهي هذه المادة من المثقاب. واستنتج أن الحرارة ليست جسما ماديا، لكنها حركة تنتقل إلى المدفع بواسطة حركة المثقاب.

عارض الكالوريون (مقولة أن الحرارة مادة) بالطبع ذلك، ولم يقم رمفورد بتقديم تأكيد تجريبي دقيق، لكنه دافع بشجاعة عن معتقداته وذلك بالجدال والعناد اللذين كانا من صفاته الطبيعية. وقال إنه يتمنى «أن يعيش ما يكفي من الزمن ليغتبط برؤية الكالوريك يدفن مع الفلوجستين في المقبرة نفسها»[2]. لكن إذا دفنت الكالوريك، فإن لها روحا قلقة كانت تُستَدعى ثانية لتفسير أهم عناصر الثورة الصناعية (الآلة البخارية).

وأبسط آلة بخارية عبارة عن اسطوانة عليها مكبس متحرك، يسخن الماء في المكبس بواسطة لهب خارجي حتى يتحول إلى بخار، يتمدد ويحرك المكبس إلى الخارج، وعند إزالة مصدر الحرارة يتكثف البخار ويتحرك المكبس إلى الداخل في الفراغ. وقد طُور هذا التصميم البسيط بواسطة طوماس نيو كومين الذي أضاف تيارا من الماء البارد لتبريد البخار. وأصبحت الآلة التي طورها نيوكومين هي النموذج القياسي حتى طُورت في القرن الثامن عشر بواسطة اسكتلندي صانع أجهزة، اسمه جيمس وات.

جيمس وات

ساعد الأصدقاء وات في الحصول على أول وظيفة كصانع أجهزة علمية في جامعة جلاسجو، وذلك عندما منعته النقابة من الحصول على وظيفة في أي مكان آخر. وكما تروي القصة، كان مطلوبا من وات أن يصلح نموذجا من آلة نيو كومين لعرضها في إحدى المحاضرات. تيقن وات أن بعض الحرارة المستخدمة في غلي الماء في آلة نيو كومين كانت تضيع في تسخين الاسطوانة، فأضاف مكثفا منفصلا يمكن بواسطته تبريد البخار دون تبريد للاسطوانة كلها، الأمر الذي حسَّن كثيرا من كفاءة الآلة.

كان الاعتقاد السائد في ذلك الوقت (دون أساس تجريبي) أن أوقية واحدة من البخار إذا مزجت بأوقية واحدة من الماء البارد، تعطي أوقيتين من الماء في درجة حرارة في منتصف المسافة بين درجتي الماء البارد والبخار. ومع ذلك كان وات يعرف بالخبرة أن تكثيف البخار يتطلب ماء أكثر بكثير مما تتوقعه هذ النظرية البسيطة. كان جوزيف بلاك يعمل في جامعة جلاسجو هو الآخر، وقد يكون هو المحاضر الذي أصلح وات الآلة من أجله. وقد لاحظ بلاك كذلك أنه ليست كل الحرارة التي تمتص في أثناء تحول أحد الأطوار إلى الآخر (جامد إلى سائل، ماء إلى بخار) تؤدي إلى رفع درجة الحرارة. فمثلا إذا أعطينا مكعب الثلج حرارة فإن درجة حرارته لا ترتفع إلا إذا أعطيناه كمية كافية من الحرارة لصهره. بعدها فقط ترتفع درجة حرارة الماء بالحرارة وتُستهلك هذه الكمية من الحرارة في تحويل الثلج إلى ماء (وليس رفع درجة الحرارة) وقد أطلق عليها بلاك «الحرارة الكامنة».

ويمكن تفسير الحرارة الكامنة بسهولة في ضوء مفهومنا الحالى للجزيئات، تتجذب الجزيئات لبعضها بصورة ضعيفة... مثل مجموعة من الضفادع تلتصق بشريط لاصق، فإذا بردت تتجمع معا وتلتصق ببعضها بواسطة الشريط، لكن إذا شعرت بالدفء تبدأ في الحركة وتتخلص من ارتباطها بالشريط اللاصق. ويمثل «تحرر الضفادع» في هذا التشبيه التغير في الأطوار: التحول من الكتلة الجامدة إلى المائعة، وهكذا الأمر مع الجوامد والسوائل: تذهب الحرارة الممتصة أولا بواسطة السائل أو الجامد إلى الإسراع من اهتزاز (ذبذبة) ودوران الجزيئات التي يتكون منها السائل أو الجامد. لكنها ـ أي الجزيئات ـ تظل ملتصقة ببعضها، وعندما تمتص ما يكفي من الطاقة فقط تتحرر الجزيئات من الارتباط اللزج ببعضها وتصبح الجوامد سوائل أو السوائل غازات، ولا ترتفع درجة الحرارة في أثناء التحول الطوري لأن درجة الحرارة مقياس لطاقة الحركة الانتقالية (الطاقة التي تصدم بها الجزيئات جدار الترمومتر). وتستهلك الطاقة الممتصة في أثناء التحولات الطورية في تكسير الروابط بين الجسيمات وليس في زيادة الطاقة التي تصدم بها الجزيئات جدار الترمومتر. ولذلك فإن هذا الحرارة الكامنة لا تؤثر في الترمومتر. لكن ذلك الفهم جاء متأخرا، أما في حينه

فإن بلاك قام بقياس الظاهرة ولم يكن لديه تفسير كامل لها.

عمل وات وبلاك في المعهد نفسه، وكانا يتبادلان الأحاديث، لكن لا يوجد سبب يدعو للاعتقاد ـ كما كان يشاع ـ بأن وات استقى كل أفكاره من بلاك تماما، مثل القول إن بلاك استقى كل أفكاره من وات، والأكثر احتمالا أن يكون بلاك قد علَّم وات بعضا من الكيمياء والفيزياء، بينما قام وات بتعليم بلاك شيئا من صناعة الأجهزة. و الجدير ذكره أن جوهان كارل ويلكس أيضا قد لاحظ وذكر ظاهرة مماثلة في الوقت نفسه تقريبا، شاهد ويلكس أن درجة حرارة مزيج من الماء الساخن والثلج كانت أقل من الدرجة المتوسطة بين درجتي حرارة الماء الساخن والثلج. لم يستفد بلاك أو ويلكس ماليا من ملاحظتهما، لكن وات استفاد.

أجرى وات عدة تحسينات أخرى على الآلة البخارية عدا المكثف المستقل، كان من بينها المكابس العاكسة، وعلى العموم فقد جعل وات من الآلة البخارية ما كينة عمل ذات كفاءة معقولة من الحالة غير المتقنة التي كانت عليها. وقد ضم قواه إلى مقاول من ميدلاند هو ماثيو بولتون فأصبحت آلة بولتون ـ وات هى المحرك الأول للثورة الصناعية. ومع الانتشار الواسع لاستخدام الآلة البخارية بدأ النظريون في البحث عن نظريات للحرارة. كان أحد هؤلاء هو مهندس التحليل والجندي في جيش نابليون، ماري فرانسوا سادي كارنو.

سادي كارنو

كان والد كارنو هو المهندس لازار نيكولاس كارنو، الذى كان وزيرا للحربية في عصر نابليون وكان معروفا بمنسق النصر. تلقى سادي كارنو تعليمه على يد والده إلى أن التحق بالبوليتكنيك، وقد تطوع للقتال في حروب نابليون مع أنه كان مُعفى لكونه طالبا. ولما قامت الملكية العائدة بنفي والده، وجد كارنو أن مستقبله العسكري قد أعاقته السياسة، لذا فقد استقال مكتفيا بنصف راتبه وعاد إلى دراسة الهندسة.

كتب والد كارنو كتابا حلَّل فيه عمل العجلات المائية، مكتشفا أن كمية الشغل الناتج عنها يعتمد على كمية الماء والارتفاع الذي يهبط منه هذا الماء. وقد كتب كارنو في العام 1824 كتاباً تبنى فيه فكرة أن الحرارة سيال

(كالوريك) مثل الماء. وذكر أن الشغل الذى نحصل عليه من آلة حرارية يعتمد على كمية الكالوريك والفرق في درجة الحرارة بين مصدر الحرارة والمكثف ـ مثل الارتفاع الذي يسقط منه الماء لإدارة العجلة المائية. وقد زودتنا هذه النظرية بنقطة ارتكاز لبداية جيدة لفهم العلاقة بين الحرارة والشغل، لأنها أقرت أن شغلا يحدث عندما يتمدد البخار ضد المكبس، ويحدث كذلك عندما يبرد البخار ويتحرك المكبس عائدا ضد الفراغ المتكون. وبالإضافة إلى ذلك، أشار كارنو إلى أن كفاءة جميع الآلات الحرارية المثالية لابد أن تكون واحدة، لأنها إذا لم تكن كذلك، فإن الآلة الأكثر كفاءة يمكن أن تدفع الآلة الأقل كفاءة في الاتجاه العكسي وتختزن حرارة مما يخلق الآلة أبدية الحركة (المحرك الأبدي)، وقد رفض كارنو احتمال وجود هذه الآلة أبدية الحركة لأنه لم ير أيا منها. وقد أثبت ذلك خطوة مهمة أخرى للأمام في فهم الحرارة كما سنرى حاليا.

قوبل كتاب كارنو المكون من 118 صفحة «انعكاسات حول القوى المحركة للنار» بالترحاب في المقالات التي تناولته، لكنه سرعان ما سقط في عالم الخمول وعدم الشهرة. حدث ذلك جزئيا لأن العالم لم يكن مستعدا بعد لفهمه، وجزئيا لأن صاحب النظرية، كارنو، مات من وباء الكوليرا وهو بعد في سن 36سنة. (وقد أحرقت ممتلكاته الشخصية، بما في ذلك الكثير من أوراقه)، وجزئيا بسبب الإمكانات المحدودة لتشبيه الحرارة بالماء.

في مساقط المياه ينصب الماء في اتجاه واحد، وينتج عن ذلك شغل، أما عندما يأخذ الغاز طاقة فإن الجزيئات تتطاير في جميع الاتجاهات، ويقوم بالعمل ضد المكبس الجزء من الغاز الذي تطايرت جزيئاته في هذا الاتجاه بالذات. أما الطاقة التي تذهب إلى الجزيئات التي تطايرت في اتجاهات أخرى، فإنها تظهر على شكل حرارة وليس شغلا. لذلك فإن الطاقة التي تأخذها الغازات يمكن أن تنتج بعض الشغل، لكنها دائما ما تنتج بعض الحرارة أيضا.

ويتضح من بعض الأوراق المتناثرة التي نجت من النار بعد وفاة كارنو أنه كان قد بدأ في الاعتراف بالعيوب والنقائص في تشبيه الحرارة بالماء، وكان يتجه إلى إدراك أن الحرارة حركة. ولو قُدِّرَ له أن يعيش لغَيَّرَ من منطلقه، لكن الذي حدث أن الأمر ظل كما هو حتى قُدِّرَ له مغامر فرنسي آخر، هو

المهندس المدني خريج مدرسة البوليتكنيك إميل كلابيرون ليكتشف قيمة أعمال كارنو ويأخذ بيدها من عالم الظلمة وعدم الشهرة.

إميل كلابيرون

سافر كلابيرون إلى روسيا العام1820 للقيام ببعض عمليات البناء، لكنه اكتشف أن الأمر صعب عليه كفرنسي ليبرالي في روسيا القيصرية المقموعة، فاضطر إلى الرجوع.لكنه شاهد في روسيا آلات وات البخارية وهى تعمل، وربما يكون قد اقتبس بعض الأسرار الصناعية التي كان يحرص عليها الروس، وذلك لاستخدامها في دراسته للحرارة. كان وات فوق كل شيء إنسانا عمليا، وكانت إحدى المشكلات العملية التي تواجهه هي كيفية تطابق القدرة الناتجة من آلة بخارية معينة مع متطلبات القدرة في الماكينة التي تديرها الآلة البخارية. وعندما وجد أحد المهندسين ـ الذي في خدمته ـ واسمه جون ساذرن طريقة لقياس مخرج القدرة، أيقن وات الميزة التي تمنحهاهذه الطريقة فاحتفظ بالطريقة سرا . وقد كتب أحد منافسيه من رجال الأعمال «كنت رجلا يحترق من العطش في انتظار أن يرتاح، أو امرأة تقتلها الرغبة لكي تستمع إلى (أوتروي) سرا من الأسرار، لكي أعرف طريقة ساذرن في تعيين القدرة ...» (3).

كانت الأداة في الحقيقة غاية في البساطة، وتتكون من صفحة من الورق على مكبس الآلة، وقلم رصاص ملحق بمقياس ضغط على اسطوانة، وبزيادة الحركة في الاسطوانة يتحرك المكبس ومعه الورقة للأمام، بينما ينخفض الضغط ساحبا القلم لأسفل. وتُعد المساحة المحصورة تحت المنحنى الناتج مكافئة لحاصل ضرب الضغط في حجم الناتج (أي المقدرة). وقد استخدم كلابيرون منحنى علاقة الحجم والضغط ورموز حسابات التفاضل والتكامل لوضع أفكار كارنو في شكل عام يمكن استخدامه كأساس لنظرية محدودة صارمة عن الحرارة. ويحسب له أنه لم يستول على اختراع ساذرن ليباشر إنتاج آلات بخارية.

وهكذا أخذت العلاقة بين الحرارة والحركة تزداد وضوحا، لكن ظل هناك ما يجب قياسه: وهو كم تنتج الحركة الميكانيكية من حرارة بالضبط؟ حاول حل هذه المشكلة طبيب سفن ألماني سليل صاحب مصانع بيرة إنجليزي.

يوليوس روبرت فون ماير

كان ماير ابن صيدلاني ألماني وقد درس الطب و الكيمياء، لكنه كان طالبا عادي الإمكانات، وقد قبض عليه مرة لانتمائه لجمعية طلابية سرية وطُرد، لكنهم أعادوه في العام التالي ليستكمل متطلبات تخرجه. وقد كتب رسالة عن الديدان في الأطفال. ووقع للعمل كطبيب على سفينة متجهة إلى شرق الهند. وعند وصوله كان يقوم بفصد الدم بشكل روتيني، لكنه كان منزعجا من لون الدم الأحمر الزاهي لظنه أنه قد فتح شريانا بطريق الخطأ، وقد أخبره الأطباء المحليون أن هذا الأمر ـ أي لون الدم الزاهي ـ عادي بالنسبة للناس الذين يعيشون في المناطق الاستوائية.

ففي هذا الوقت (منتصف القرن التاسع عشر) كان من المفهوم أن الدم يكتسب لونه الأحمر من الأكسجين، وأن الجسم يحرق الأكسجين للحصول على الحرارة (ونذكر هنا أن لافوازييه قد أجرى بحوثا في هذا الاتجاه). لكن من يقم في المناطق الاستوائية لا يحتاج إلى كثير من الحرارة (أي يحتاح إلى أكسجين أقل) لذلك فإن الدم العائد إلى الرئتين يكون أغنى بالأكسجين ويظهر كأنه دم طازج قادم من الرئتين. وقد تساءل ماير ما إذا كان الأكسجين داخل الجسم ينتج شغلا كذلك! ولدى عودته إلى ألمانيا وضع أفكاره في مقالة أرسلها للنشر في إحدى المجلات العلمية الألمانية.

لم تحتو المقالة على نتائج تجريبية، وكانت مناقشة ماير للطاقة والشغل والقوة مشوشة. رفض محرر المجلة نشر المقالة، وعندما أرسل ماير طلب استفسار عن ذلك، لم يحظ بأي رد. وفي محاولة ثانية جعل ماير الأفكار أكثر وضوحا وكتب مقالة ثانية قبلت للنشر. وقد أشار ماير في مقالته الثانية إلى أن: (على أساس نتائج تجريبية لآخرين) «سقوط وزن معين من ارتفاع 365 مترا يؤدي إلى رفع درجة حرارة وزن مماثل من الماء من درجة صفر إلى درجة مؤية واحدة»[4]، وهو ما يشير إلى وجود تكافؤ كمي بين الحركة الميكانيكية والحرارة. أما القيمة المعروفة اليوم لهذا المكافئ فهي السقوط من ارتفاع 418,4 متر.

لم يلق ماير القبول من المجتمع العلمي، ففي القرن التاسع عشر، قرن القومية، القرن الذي يوقر العبادة والدين والعصبية والمجتمع، كان من الصعب على الأفراد أن يصبحوا مقبولين من المؤسسات العلمية إن لم

يكونوا قد تدربوا فيها. كان هذا الرفض مصدر معاناة لماير، ولسوء الحظ كانت حياته الشخصية هي الأخرى مليئة بالألم. وبالرغم من أنه أنشأ عيادة ناجحة بعد عودته من الهند الشرقية إلى ألمانيا، إلا أن خمسة من أطفاله السبعة، توفوا في طفولتهم، كما أنه قد اعتقل في أثناء ثورة 1848، لأنه محافظ وأصبح على خلاف مع أخيه. أصبح ماير عنيفا ـ الأمر الذي يمكن فهمه ـ وعندما كتب ليبيج (أول من نشر أبحاث ماير، والذي سنناقش أعماله في مجال آخر) أنه يعتقد أن قوة العضلات تأتي من القوة الكيميائية، فإن ماير صرح بأنه مغفل، وذلك لظنه أن هذه النظرية تبدو محل شك مثل نظريته. كان ليبيج مع ذلك كيميائيا ذا سمعة حقيقية، بينما لم يكن ماير كذلك، ولذا لم يلق تذمره أو شكوكه اهتماما كبيرا. وعندما قدم جيمس جول ـ من إنجلترا ـ حساباته الخاصة للمكافئ الميكانيكي للحرارة وجد ماير نفسه في مقدمة المنافسة في ألمانيا بما في ذلك من اعتبارات جغرافية وفلسفية. اتخذ بيتر تيت جانب جول وكتب كتابا في ذلك. وتيت هو عالم اسكتلندي ولاعب جولف شره (ربما تعود على تسجيل الأرقام القياسية المبدعة) وهو الشخص نفسه الذي نسب فضل السبق إلى تشارلز في شرح قانون جاي لوساك. حاول ماير الانتحار وهو في سن 36 نتيجة جزع واكتئاب، وكان يعاني من انهيارات عقلية حادة استدعت دخوله المستشفى. ومع أن ماير اكتسب بعض الاعتراف قبل وفاته متأثرا بالسل في عمر 64، إلا أن الإنجليز كسبوا حرب الكلمات: يطلق اسم جول على وحدة الطاقة اليوم (سواء أكانت طاقة حركة أم حرارة).

جيمس بريسكوت جول

نجح مصنع البيرة الذي أسسه جدُّ جول في مانشستر بإنجلترا نجاحا كبيرا حتى أن جول كان يستطيع أن يمارس اهتماماته العلمية بحرية دون اعتبار للمال ـ على الأقل في البداية. تلقى تعليمه منزليا، بواسطة معلمين خاصين، كان أحدهم جون دالتون. وبدأ أبحاثه في سن 19.

درس جول الكهرباء، ووضع نصب عينيه أن يترك انطباعا على المجتمع العلمي. قاس الارتفاع في درجة حرارة الماء، والذي تسبب فيها مرور تيار كهربى في سلك مغمور في الماء بكل دقة، لكن المحترفين رفضوا تقريره.

قام بعد ذلك بقياس الحرارة الناتجة عن حركة عجلة ذات زعانف في الماء، ووجد المكافئ الميكانيكي للحرارة، والذي لم يختلف عن القيمة المعروفة اليوم إلا ببضعة أجزاء من عشرة في المائة. رفضت الجمعية الملكية تقريره هو الآخر. انتاب جول هاجس حول قياس هذه القيمة حتي أنه اصطحب زوجته في أثناء شهر العسل في رحلة إلى مسقط مياه في سويسرا، حتي يتمكن من قياس الفرق في درجات حرارة الماء في قمة قاع الشلال، والتي يتسبب فيها سقوط الماء من هذا الارتفاع. لم يتمكن من الحصول على قياسات جيدة بسبب الرذاذ، ولأنه كان يحاول قياس فرق يبلغ أقل من درجة واحدة. وفي منتصف القرن التاسع عشر، تم الاعتراف بقيمة أبحاثه وإخراجها إلى دائرة الاهتمام العام بواسطة ويليام طومسون عضو المجتمع العلمي الذي كان سنه 22 عاما، ويصغر جول بسبعة أعوام.

وليم طومسون، لورد كلفن

بالرغم من أن كلفن بدأ حياته باسم وليم طومسون، إلا أنه معروف أكثر باسم كلفن. وحتى منتصف الخمسينيات من القرن التاسع عشر كان مازال اسمه وليم طومسون الذي ولد وتربى داخل المجتمع العلمي. كان والده أستاذا للهندسة ومؤلفا لمجموعة كتب في التفاضل والتكامل، وقد عَلَّم كلفن بنفسه منزليا. علم كلفن وهو في باريس بتحليل جول للآلات الحرارية، لذلك كان مستعدا لتقدير قيمة أفكار جول عندما سمع بها. كان مهتما بالقياسات الحرارية، لكنه ركز جهوده على الأجهزة. كان يعلم يقينا أن الترمومترات الزجاجية المحتوية على سوائل لها استجابات مختلفة وغير خطية. لذلك لم تكن هذه الترمومترات قياسية للعلم الذي بدأ يبزغ، علم الحرارة. كانت هناك حاجة إلى تصميم مقياس لدرجة الحرارة يعتمد على قانون طبيعي وليس تمدد أحد السوائل، وقد وجد كلفن ضالته.

لاحظ كلفن انتظاما باهرا في سلوك الكميات الثابتة من الغازات المختلفة. فإذا رسمنا الضغط مع درجة حرارة الغازات المختلفة ومدت الخطوط على استقامتها حتى ضغط = صفر، فإن الخطوط كلها تتجمع عند درجة حرارة 15 ,273ْس. اقترح كلفن اعتبار تلك الدرجة الصفر المطلق لدرجة الحرارة، بحيث تصبح كل درجات الحرارة موجبة بالنسبة لهذا الصفر. كان ذلك

تنقيحا مهما لأنه في أثناء حسابات خواص الغازات، كان يتطلب الأمر أحيانا القسمة على درجة الحرارة، وستكون النتائج بلا معنى إذا كانت درجة الحرارة صفرا أو سالبة. عمل كلفن بعد ذلك على جعل الزيادة في درجة الحرارة تقابل كمية ثلثية من الشغل المبذول في أثناء تمدد ما أسماه بـ «الغاز المثالي»: نموذج خيالي من الغاز الذي لا تمارس جسيماته تجاذبا أو تنافرا فيما بينها، ولا تشغل الجسيمات نفسها أي حجم، وهو السلوك الذي يقترب منه الفلز الحقيقي تحت الضغوط المنخفضة، وعلى أساس سلوك هذا الغاز المثالي فإن مشوار الدرجة الواحدة أصبح لا يتغير مع تغير درجة الحرارة، وقد وجد أن ترمومتر غاز حقيقي يمكن أن يقارب سلوك المقياس المثالي بشكل مرض بدرجاته التي سميت «كلفن» على شرف كلفن نفسه، والتي أصبحت مستخدمة الآن.

قام كلفن بمساهمة مهمة أخرى في هذا المجال: المصطلح ديناميكا حرارية، وقد استخدم هذا المصطلح لوصف الآلات الحرارية، لكن الكلمة تطورت في النهاية لتصف كل الدراسات المتعلقة بتحولات الطاقة بما فيها الحرارة والشغل.

القانون الأول والثاني والثالث للديناميكا الحرارية

قام الطبيب الألماني والكيميائي (في واقع الأمر) هيرمان فون هيلمهولتز بتلخيص اكتشافات جول وماير وكلفن وكلابيرون في القانون الأول للديناميكا الحرارية: في النظام المغلق (الذي لا تتغير محتوياته المادية) يظهر أي تغير في الطاقة على شكل حرارة أو شغل، أي أن الطاقة محفوظة (لا تفنى ولا تستحدث). وإذا قلنا القانون الأول فإن ذلك يعني وجود قانون ثانٍ، وقد توصل إليه كلفن في جلاسجو ـ عندما تأمل أعمال كارنو وجول ـ وكذلك توصل إليه رودلف كلاوزيوس في برلين عندما تأمل أعمال ماير، اعتقد هذان الباحثان النظريان أن الحرارة التي تذهب إلى المصب البارد من الآلة الحرارية المثالية في نهاية الدورة تكافئ الحرارة المأخوذة من المنبع الساخن مطروحا منها الكمية المستعملة في إحداث الشغل لكنهما كانا يعرفان أن الأمر لم يكن بالضرورة كذلك في الآلات الحرارية الواقعية. ففي الآلات الواقعية تقل الحرارة الخارجية إلى المصب البارد في نهاية الدورة عن

القيمة المتوقعة ـ كما لو كان هناك فقد ما في الحرارة لا يعطي شغلا ـ وبالفعل كان الأمر كذلك.

إذا تخيلنا كومة من الريش ودفعنا عمودا بقوة إلى داخلها، فإن الريش سيتطاير. لكن يمكن أن نتصور أنه لو أدخلنا هذا العمود في كومة الريش ببطء شديد وحرص فإن كل ريشة أزيحت بواسطة العمود ستعود ثانية بالضبط إلى مكانها الأصلي عندما نسحب العمود ببطء شديد وحرص. وبذلك يظل الريش في مكانه بالضبط في نهاية العملية كما كان في بدايتها. وتسمى هذه العملية اللانهائية في بطئها وحرصها باسم «العملية الانعكاسية»، لأن العملية يمكن أن يعكس اتجاهها في أي نقطة دون إحداث تغيير. وفي حالة إقحام العمود انعكاسيا تذهب الطاقة كلها في دفع العمود ولا يفقد شيء منها في إعادة ترتيب الريش. وهكذا الوضع مع الآلات الحرارية: إذا أمكن إدارتها انعكاسيا ـ ببطء وحرص لا نهائيين ـ فلن تفقد أي طاقة. لكن إذا كانت الآلات البخارية الحقيقية قد دارت ببطء وحرص لانهائيين لتوقفت تماما الثورة الصناعية قبل أن تبدأ. وفي الحالة الحقيقة «التلقائية» للعمود والريش يتطاير الريش لا انعكاسيا. وفي الآلات الحقيقية يضيع جزء من الطاقة دائما في مجرد دفع جزيئات الغاز لتتطاير في كل اتجاه دون عمل شغل. وقد أطلق كلفن على هذه الخاصية للآلات الحقيقية الاتجاه العالمي «لتبديد (تفريق) الطاقة»[5]. أما كلاوزيوس فقد سماها أنتروبيا (درجة التعادل الحراري).

الأنتروبيا

رودلف كلاوزيوس

أوجز كلاوزيوس القانون الثاني للديناميكا الحرارية في قوله: «تكافح أنتروبيا العالم لتصل إلى نهاية عظمى»[6]. فهناك اتجاه كوني لتطاير الريش.

كان تبريره لذلك مثل كارنو. فلم يرَ كلاوزيوس أبدا أن الأنتروبيا تتناقص (فالريش المتطاير لا يمكن أن ينتظم تلقائيا في كومة منتظمة)، ولذا فهذا لن يحدث. ولم يقدم أي تفسير على المستوى الجزيئي، ومن العجب أنه لم يفعل. فقد مثَّل كلاوزيوس ـ هذا الباحث المبدع ذو البصيرة النافذة ـ الغازات على أنها تجمع من الجسيمات في حركة دائمة، كما

بَيَّنَ أن تحليل طاقة هذه الجسيمات وصدماتها على الوعاء الذى يحتويها يمكن أن توصل إلى قانون بويل عن علاقة الضغط بالحجم وإلى قانون جاي ـ لوساك عن علاقة الحجم بدرجة الحرارة. لقد كان هذا التحليل (والمعروف الآن باسم نظرية الحركة للغازات) دليلا بيّنا على وجود الذرات. يجدر ملاحظة أن كلاوزيوس لم يكن أول من تناول هذه الفكرة كان جون جيمس وترستون أول من اقترح ذلك مبكرا لكنه كان بعيدا عن المجتمع العلمي الراسخ، ولذا لم تقبل أفكاره. وقد قال من راجع التحليل المقدم من وترستون إلى الجمعية الملكية «المقال مجرد عبث لا معنى له، وغير مناسب حتى لأن يُقرأ أمام الجمعية»[7]. وقد «تجنب وترستون بعد هذا الحادث مجتمع المهتمين بالعلم ـ كما قال ابن أخيه ـ ولم نكن لنفهم الطريقة التي كان يتناول بها الحديث عن المجتمع المتعلم، لكن كانت أي إشارة إلى هذه المجتمعات تستدعي كمية وافرة من السباب...»[8].

كان التحدي الذي واجه كلاوزيوس في موضوع الأنتروبيا لحظيا فقد كان الوقت وقت التحديات في العالم الأوروبي. كانت فرنسا وألمانيا في حالة حرب خلال الثمانينيات من القرن التاسع عشر. ومع أن إنجلترا كانت على الحياد، إلا أنه كانت لها ارتباطات وثيقة بفرنسا. كان كلفن Kelvin مواطنا بريطانيا، بينما كان كلاوزيوس، المولود في بروسيا، قد أصيب في أثناء قيادته لرابطة طلابية ألمانية إبان الحرب الفرنسية ـ البروسية. وعندما انتقلت الحرب من ميادين القتال إلى الأروقة العلمية، وجد كلاوزيوس وماير أنفسهما مستثارين ضد كلفن وجول. وقد بدا على كلاوزيوس أنه فقد الاهتمام بالعملية العلمية (ربما ليس بالعلم)، بعد أن شارك في المعارك لفترة وجيزة. وكان ما زال يشعر بالألم من إصابته القديمة التي عولجت في أثناء عمله كسائق عربة إسعاف حربية. كما قام برعاية أسرته وحيدا بعد وفاة زوجته، لذلك آثر أن يتزوج ويتقاعد في نهاية تاريخه الوظيفي، ولم يحاول الدخول إلى معركة تفسير الأنتروبيا على المستوى الميكروسكوبي. غير أن أحد مواطني النمسا ـ التي كان مقدرا لها أن تصبح حليفا لألمانيا في القريب ـ قد تولى هذه المعركة عندما ذهبت الأمور بعيدا.

الميكانيكا الإحصائية

لودفيج بولتسمان

قد يكون السبب الآخر لانسحاب كلاوزيوس من المعركة هو أن كثيرين من الناس كانوا ما يزالون يشككون في وجود الذرات بشكل حقيقي، أن لابد أن تُوضع الذرات في الاعتبار عند التفسير الجزيئي للأنتروبيا. غير أن بولتسمان كان مستعدا لتولي هذا الأمر. وقد كتب «إنني واع تماما بأنني فرد أواجه، رغم ضعفي، بصعوبة تيار الزمن»[9]. وقد استخدم بولتسمان التحليل الإحصائي، باعتبار الغاز تجمعا للدقائق، ليثبت أن الأنتروبيا هي تعبير عن الاتجاه الطبيعي للنظام في بحثه عن أقصى حالات اللانظامية.

ولا يبدو أن اللانظام ظاهرة عامة، فكلنا يعرف ما يحدث عندما نلقي بكومة من الورق. كما أننا يمكن أن نتخيل ما يحدث حين ندفع عمودا بقوة داخل كومة من الريش، لكن ليس واضحا لماذا يجب أن يكون اللانظام «اتجاها طبيعيا». وقد أوضح بولتسمان أن حالة اللانظام هي الحالة الطبيعية لأنها الحالة ذات الاحتمالية الأعلى.

ولنأخذ مثالا من مجموعة أوراق اللعب (الكوتشينة) الجديدة المرتبة ترتيبا دقيقا تبعا للون والعدد. فبمجرد فض غلافها وخلطها تصبح على درجة معينة من اللانظام. وكلما خلطت الأوراق أكثر أصبحت درجة اللانظام أكبر. ولا يحدث ذلك لأنه من المستحيل أن ينتهي الأمر بأوراق اللعب مرتبة ترتيبا دقيقا تبعا للون والعدد بعد تكرار خلطها، ولكن لأن احتمال حدوث ذلك حوالى واحد في كل عشرة ملايين تريليون مرة (أي من غير الوارد حدوثه). وعلى العكس، فإن أفضلية أن تكون مجموعة أوراق اللعب على درجة من العشوائية هي فرصة واحدة في كل مرة (أي كل خلط سيأتي بمجموعة غير مرتبة).

كانت بصيرة بولتسمان في أنه اكتشف الشيء نفسه للذرات. فهناك بعض الترتيب في نظام مبرد، وعند الصفر المطلق، وفي بلورة مثالية، فإن كل شيء متجمد في مكانه، والأنتروبيا = صفر. وقد تعرف والتر ترنست على هذا الصفر وقدمه للكيميائيين كبداية لحساب خواص الديناميكا الحرارية، وكقانون ثالث للديناميكا الحرارية. لكن مع كل إضافة للطاقة تزداد الأنتروبيا. وبالتحديد فقد أوضح بولتسمان أنه إذا كانت W

هـي عـدد الطـرق المختلفـة التـي يمكـن أن تتـوزع بهـا المجـموعــة، فإن الأنتروبيا S لابـد أن تتناسـب مـع لوغاريتـم هـذا العـدد : S = klogW. ومع أن أحد مبـادئ هذا الكتاب أن روح تاريخ الكيمياء يمكن إدراكها مـن دون معالجات رياضية، إلا أننا نقحم هذه القطعة الرياضية هنا لسبب تاريخي قوي، فالمعادلة S= klogW محفورة على شاهد القبر بولتسمان.

ظن الكثيرون من الحرس القديم أن تحليل بولتسمان ليس إلا مناورة رياضية مسلية وليس أكثر. ويرجع بعض المؤرخين انتحار بولتسمان، وهو في سن 62، إلى الإحباط الذي أصابه برفض إنتاجه. غير أن بولتسمان ظل لمدة طويلة يتعرض لأمزجة تتأرجح بين التيه والعجب من ناحية، والاكتئاب من ناحية أخرى، الأمر الذي كان ينسبه بولتسمان لمولده في الساعـات الأخيـرة لثلاثـاء المرفـع (آخـر ثلاثـاء قبل الكرنفال ـ الصيـام). ولو قُدِّر له أن يعيش بضع سنوات أخرى لرأى كيف تقبّل الناس أفكاره، وكما هـي الحـال دائمـا، فقد تقبلـه وقـام بدعـمـه العلمــاء الشبــان في عصره. واليوم يدرس كل طالب يتخصص في الكيمياء المعالجة الإحصائية للديناميكا الحرارية (العلم الذي يسمى الآن الميكانيكا الإحصائية).

ولو قُدَّر لبولتسمان أن يعيش لاستمتع برؤية أحدهم يتخذ طريقا موازيا لطريقه، إلا أنه كان على تخوم أخرى غير العلم. فقد كان الأوروبيون ما زالوا يعتقدون أن الولايات المتحدة يقطنها في الأغلب الدببة ولابسو جلود الدببة (فراء الدببة). وكان بولتسمان نفسه يحط من قدر الولايات المتحدة في أحاديثه قائلا عنها الدورادو(*)، وبينما كان الأوروبيون عاكفين على حل معضلات الآلة البخارية والغازات وعلاقة كل ذلك بالكيمياء (ربما يكون القارئ يعاني من المعضلات نفسها)، ظهر جوشيا ويلارد جيبس في الولايات المتحدة.

جوشيا ويلارد جيبس

افترض بولتسمان في صياغته للميكانيكا الإحصائية أن الجزيئات تتوزع على كل مستويات الطاقة المتاحة (مثل طاقة مرتفعة، وطاقة منخفضة،

(*) الدورادو كلمة إسبانية واسم لمملكة خرافية غنية بجواهرها ومعادنها النفيسة وتقع في أمريكا الإسبانية (المراجع).

وطاقة متوسطة، وهكذا)، ثم قام بحساب خواص الغازات (مثل الضغط والأنتروبيا) بناء على متوسط التوزيع مع الزمن. ويمكن مقارنة ذلك بوضع ثلاث كرات رخامية في صندوق كرتون من النوع الذي يستخدم لحفظ البيض، ويرج هذا الصندوق مع ملاحظة توزيع الكرات الرخامية في الخانات، ثم رجّه مرة أخرى... وهكذا، وبعد تريليون مرة أو نحوها نحسب التوزيع المتوسط. وقد قال جيبس إن هذا التوزيع سيكون هو نفسه متوسط توزيع الكرات الرخامية التلقائي في العديد من الأنظمة. ويمكن مقارنة ذلك بأخذ تريليون كرتونة مزودة بالكرات الرخامية الثلاث ورجها جميعا في وقت واحد وأخذ متوسط التوزيع فيها. وقد اتضح أن هذه الطريقة الرياضية مفيدة جدا، وقد ساعدت كثيرا في حسابات الميكانيكا الإحصائية (على الرغم من أن الحسابات ظلت مستعصية، من هنا جاءت الإشارة MS «الحروف الأولى من اسم العلم Statistical Meelencas» من قبل الطلبة الأشقياء). وقد أطلق جيبس على كرتونات البيضا اسم «أطقم» (الأطقم القانونية، والأطقم القانونية الصغيرة والأطقم القانونية الكبرى) وهي الأسماء التي كان لها رنين الكورال الملائكي أكثر منها أسماء تتعلق بالذرات أو الجزيئات. وقد أربكت لغته البسيطة الصارمة والشكل الرياضي العام المجتمع العلمي لفترة طويلة. وقد ذهبت معظم أعمال جيبس دون أن يلحظها أو يحتفي بها أحد. فقد كان جيبس هادئا بطبيعته، فلم ينفق الكثير من وقته في الإعلان والدعاية لأفكاره. وباستعراض خلفية أسرته يمكن أن نتصور السبب الذي من أجله اختار جيبس حياة أكثر هدوءا.

هاجر الجد الأكبر لجيبس (سيمون ويلارد) من إنجلترا إلى نيو إنجلاند في منتصف القرن السابع عشر ليعمل تاجر فراء ومقاتلا. أما ابنه الموقر (صمويل ويلارد) فقد أعلن عن رأيه بوضوح ضد محاكمات السحر في ميناء سالم في مساشوستس، وقد انتهى به الأمر إلى أن أصبح هو نفسه متهما بالسحر. وتحفل شجرة عائلة جيبس بالموقعين على وثيقة الاستقلال والأطباء والأساتذة والمحامين والكيميائيين. أما والده فقد كان أستاذا في جامعة ييل، واشترك في توقيع احتجاج موجه إلى الرئيس بوتشانان ضد اقتراح باستخدام القوات لنجدة مواطني كانساس المؤيدين للرق. وكانت أمه ثائرة هادئة تقوم بدراسة علم الطيور بشكل منتظم، ولم تقيد نفسها

بملاحظة الطيور فقط، كما كانت عليه الحال لامرأة تلاحق الطيور في ذلك العصر.

بدأت الحرب الأهلية الأمريكية عندما كان جيبس في مرحلة الدراسات العليا، لكنه لم تصبه القرعة ولم يتطوع بنفسه. ومع أن والدته ماتت وهو في الكلية وتوفي والده عندما كان طالبا للدراسات العليا، فإن أخته غير المتزوجة استمرت تعيش معه وترعى بيته.

كانت الدكتوراه الخاصة بجيبس هي ثاني درجة تمنح في العلوم في الولايات المتحدة وأول درجة في الهندسة (لأن تاريخه الوظيفي في ييل امتد على مدى الأربعين سنة التالية، فربما يكون قد تزامن مع أحد أوائل جامعة ييل: فقد حصل أول أمريكي من أصل أفريقي على درجة الدكتوراه Ph.D في الفيزياء وهو إدوارد بوتشي، وقد كان ذلك في جامعة ييل حيث انتخب للحصول على الأخوة الشرفية في بيتا كابًا)[10]. ولرغبته في البقاء في ييل فقد قبل جيبس وظيفة معلم خصوصي لمدة 3 سنوات. وبنهاية هذه المدة قام هو وأختان له بتأجير بيت العائلة ليقوموا بتمويل رحلة إلى أوروبا، كان هدفها الأول هو دراسة جيبس. ولدى عودته أصبح في مقدور جيبس شغل وظيفة أستاذ للفيزياء الرياضية، لأنه وافق على العمل من دون مرتب. غير أن هذا الأمر لم يكن غير مألوف في الثمانينيات من القرن التاسع عشر، فقد كان يتلقى بقشيشا من الطلاب الذين لم يكن لديه منهم سوى القليل في البداية.وكان يجري تجاربه على فقاعات الصابون والشد السطحي والخاصية الشعرية في المنزل، في حوض المطبخ. وقد اختار أن يحاضر في أعمال كلاوزيوس وأثبت أن له حسا قويا تجاه مفاهيم الديناميكا الحرارية بما في ذلك الأنتروبيا.

كان الاعتقاد السائد هو أن التفاعلات التي تنتج حرارة هي فقط التفاعلات التلقائية. غير أن جيبس أدرك أن التغير الذي ينتج أكبر كمية من الأنتروبيا في النظام وفي الوسط المحيط به هو التغير الذي يحدث تلقائيا (فالحرارة تسري تلقائيا من الجسم الساخن إلى البارد وليس العكس؛ لأن ذلك هو التغير الذي ينتج أقصى أنتروبيا).

وبعبارة أخرى، رأى جيبس أن حساب التغير في الأنتروبيا للنظام وللوسط المحيط به يمكننا من التنبؤ باتجاه التغير التلقائي في أي تفاعل كيميائي.

وهكذا، بالورق والقلم ـ ومن دون قطرة واحدة من محلول أو من عرق ـ يمكن أن نحسب ما إذا كان تفاعل ما في الصناعة أو في المعمل لابد أن يحدث.

وقد استحدثت قيمة تعرف باسم طاقة جيبس الحرة G تشتمل على هذه التغيرات الأنتروبية خصيصا، من أجل الظروف المهمة والخاصة بإجراء التجارب في وعاء مفتوح في المعمل (أي تحت ضغط ثابت ودرجة حرارة ثابتة). وكما يعرف كل طالب مجتهد من طلاب الكيمياء، فإن التفاعلات تحدث تلقائيا فقط إذا كانت قيمة G للحالة الأولية أكبر من G للحالة النهائية. أما عند الاتزان فإن التغير فيG يساوي صفرا.

وعلى الرغم من ذلك لم يكن هذا كافيا، فقد استخدم جيبس أبعاد وات لمنحنيات الضغط مع الحجم في حالة سطح ذي ثلاثة أبعاد (مجسم) بحيث يمكن تحديد حالة النظام (غاز أم سائل أم جامد) تحت أي درجة حرارة وضغط بمجرد إلقاء نظرة. وقد استنبط قاعدة تعادل الأطوار لتحديد ما إذا كان الخليط الكيميائي متزنا وأي المكونات أو الظروف يمكن تغييرها دون أن ندفع النظام تجاه طور آخر. ومن المهم جدا في كثير من المواقف العملية، مثل حالة سبك السبائك، التحكم في تركيب الناتج النهائي. ويمكن إيجاز المعلومات حول تركيب الخليط على رسم بياني للأطوار التي يمكن استخدامها مع قاعدة تعادل الأطوار لجيبس للتنبؤ بسلوك النظام في الظروف المختلفة.

كانت نتيجة كل هذه الأبحاث قائمة جديدة من الأدوات التي يستخدمها الكيميائيون والمهندسون ومثلهم النظريون. وكانت المشكلة الوحيدة هي أن هذه القائمة لم تصل مباشرة إلى الناس الذين كان في استطاعتهم الإفادة منها. كانت الأبحاث في شكل رياضي مبهم، لم يتمكن الناس من فهمه عند قراءته، كما أنها نشرت في مجلة غير مشهورة هي «محاضر أكاديمية كونيكتيكت» لم تصل أوروبا إلا بعد مدة بالبحر، إذا كانت قد وصلت أصلا. غير أنها قد وصلت لقلة مهمة من بينهم جيمس كلارك ماكسويل الغزير الإنتاج والمحترم الذي سوف نلتقي به الآن وفيما بعد.

جيمس كلارك ماكسويل

كانت أسرة «كلارك» من طبقة ملاك الأراضي الاسكتلنديين، وعندما

تزوج اثنان من هذه الأسرة في القرن الثامن عشر من سيدتين من أسرة ماكسويل، وهما من البنات غير الشرعيات للورد ماكسويل الثامن، فإن الشابين اتخذا لأنفسهما لقب ماكسويل ليكتسبا لقبا شرعيا يمكنهما من بعض العقارات. ولد جيمس كلارك ماكسويل في العقد الرابع من القرن التاسع عشر، وعاش حياة رغدة يدعمه في ذلك عنان الفضول العلمي لماكسويل. وبينما كان يحاول تفسير الحلقات حول كوكب زحل، فإنه كان يفكر حول فيزياء التصادمات بين الأعداد الكبيرة من الأجسام. وعندما قرأ مقالة كلاوزيوس التي تربط بين الضغط وصدمات جزيئات الغاز على جدران الإناء، فإنه بدأ يناور بهذه النظرية واكتشف أنه يمكن التنبؤ بظاهرة بعيدة عن الحدس: لابد أن تكون لزوجة الغاز غير متعلقة بكثافته، فاللزوجة مقياس لمعدل تباطؤ سريان الغاز في أثناء مروره في أنبوب. وتعاني الجزيئات الملاصقة للجدران من الاحتكاك الذي يتسبب في الإبطاء من حركتها نتيجة تصادمها مع الجدران وتؤثر في الجزيئات الداخلية فتبطئ من حركتها هي الأخرى نتيجة لاصطدامها بهذه الجزيئات. وفي الكثافات المنخفضة يوجد عدد أقل من جزيئات الغاز في حجم معين منه، لذا فإن هناك عددا أقل من الصدمات الاحتكاكية، غير أن هناك ـ كذلك ـ عددا أقل من الصدمات بين هذه الجزيئات والجزيئات الداخلية، لذلك فإن محصلة الاحتكاك هي نفسها كما في الكثافات العالية. وعندما قام هو وزوجته كاترين ماري ديوار بالتحقق من ذلك تجريبيا، فإنهما تأكدا في الوقت نفسه من نظرية الحركة للغازات. وراجع ماكسويل أبحاث كلاوزيوس مرة أخرى.

لاحظ ماكسويل أن كلاوزيوس قد بَسَّط الأمور، وافترض أن جميع جزيئات الغاز تنتقل بالسرعة نفسها . ولكن ماكسويل نقح هذه النظرية وأزاح جانبا هذا التبسيط مستخدما التوزيع الإحصائي للسرعات التي يمكن للغاز الحقيقي أن يكتسبها. افترض ماكسويل أيضا أن مؤشر كلاوزيوس عن الاتجاه التلقائي للتغيير (الأنتروبيا) يمكن دحضه في بعض الأنظمة المعزولة كليَّة عن العالم الخارجي. وعلى وجه التحديد فقد قال ماكسويل إن الحرارة يمكن أن تسري من الغازات الباردة إلى الغازات الساخنة إذا أجلسنا عفريتا على فتحة في أنبوب التوصيل بين هذه الغازات بحيث يسمح بعبور الجزيئات الساخنة (السريعة) إلى الجزء الساخن، والجزيئات

الباردة إلى الجزء البارد. (وقد جاء الرد على «عفريت ماكسويل» في حقيقة أن هذا العفريت لا يمكن أن يظل معزولا إلى الأبد - فحتى العفاريت لابد لها أن تأكل - لذلك فإن نظاما كهذا يحتاج إلى إدخال طاقة).

استطاع ماكسويل أن يكشف عن فائدة علاقات وتحاليل جيبس. بل إنه صنع نموذجا ثلاثي الأبعاد لسطح ديناميكي حراري أسماه سطح «ويلارد جيبس» كهدية لجيبس، لكنه توفي بعد أن انتهى منه بأسبوعين متأثرا بسرطان البطن وهو بعد في سن 48. كان جيبس في ذلك الوقت قد اكتسب بعض الاعتراف من أوروبا من خلال ماكسويل.

لكن جيبس ظل غير مشهور في بلده. وعندما أُسست جامعة جديدة في الولايات المتحدة، سافر رئيسها إلى أوروبا لإيجاد خبير في الفيزياء الجزيئية لكليته، وعندها أخبروه في كامبريدج، بإنجلترا، أن أفضل خبير لهذا العمل يوجد هناك في ولاياته المتحدة، إلا أنه رد قائلا: «أرجو إعطائي اسما آخر. فلا يمكن أن يكون ويلارد جيبس ذا جاذبية شخصية وإلا لكنت قد سمعت عنه»[11].

وبالقطع، فيما يتعلق بالجاذبية الشخصية، فلم يكن جيبس يملك منها شيئا. كان يملك صوتا مطليا بطبقة كثيفة من «الأسفلت»، وقد وصف أحد الكيميائيين الإنجليز - كان حاضرا في إحدى محاضراته - وصف طالبين كانا يجلسان يخربشان في كراستيهما، بينما وقف جيبس بجوار السبورة التي غطيت تماما بكتابات ورموز منمنمة وهو يطن فوقها. وكان عدد المرات التي استجمع فيها قواه ليتساءل عن شيء ما في الملتقيات (السمينارات) نادرة يتذكرها الجميع. وفي أثناء إحدى المجادلات في الكلية حول أفضلية تدريس اللغة أو تدريس الرياضيات، نهض جيبس قائلا «الرياضيات لغة» ثم جلس[12]. انتهى به الأمر في جامعة ييل حيث امضى 10 سنوات من دون مرتب معتمداً فقط على ما يدفعه طلابه من مصروفات. وفي العام 1880، عندما أعلن جيبس أنه سينتقل إلى جامعة جونز هوبكينس، قامت سلطات الجامعة أخيرا بتخصيص مرتب له مقداره 2000 دولار سنويا.

ومن المشكوك فيه أن ينتقل جيبس إلى جامعة جونز هوبكينس، فالبيت الذي أقام فيه منذ أن كان في العاشرة من عمره لا يبعد إلا نصف مربع عن مدرسته الابتدائية ومربعا عن جامعة ييل ومربعين عن مكتبه ومربعين عن

المقابر التي دفن فيها. وقد اكتسبت أعمال جيبس شهرة في وسط القلة المؤثرة من الكيميائيين بفضل ماكسويل. وأحد هؤلاء كان الكيميائي الفرنسي الذي ترجم أعمال جيبس إلى الفرنسية، وبذل الكثير ليلفت انتباه العلماء الفرنسيين إلى هذه الأبحاث. كان اسمه لوشاتيليه، وهو الاسم الذي أصبح مرادفا للاتزان الكيميائي.

مبدأ لوشاتيليه

هنري لويس لوشاتيليه

وجد لوشاتيليه أن إضافة أو أخذ حرارة من الاتزان يجعله يحيد وذلك في أثناء دراسته لبعض المشاكل، في درجات الحرارة المرتفعة، مثل كوارث المناجم وصناعة الأسمنت. وعندما كان لوشاتيليه في أوائل الثلاثينيات من عمره ـ في بداية الثمانينيات من القرن التاسع عشر ـ قام بإيجاز هذه الملاحظات فيما يعرف الآن باسم مبدأ لوشاتيليه: عندما يؤثر عامل من العوامل في نظام متزن يقوم النظام بتعديل نفسه في الاتجاه الذي يمتص هذا التأثير. وهذا العامل قد يكون مادة ـ كما لاحظ ذلك أصلا بيرثوليت على شواطئ البحيرات المالحة في مصر ـ أو حرارة كما ثبت الآن بواسطة لوشاتيليه.

والنفع الذي عاد على الكيمياء من هذا المبدأ كثير. فيستطيع الكيميائي الآن أن يستنتج ما إذا كان التفاعل سيحدث من تلقاء نفسه أم لا باستخدام دالة جيبس، كما أنه يستطيع أن يتملق التفاعل ليدفعه في الاتجاه المطلوب باستخدام مبدأ لوشاتيليه.

ويمكن تصوير هذا المبدأ في صورة لاعبين اثنين متزنين على طرفي أرجوحة ومعهما مجموعة من الكرات. فإذا أسقط أحد اللاعبين بعض الكرات فإن على اللاعب الآخر أن يرمي ببعض الكرات كذلك، ليحتفظ بالاتزان على طرفي الأرجوحة. والتفاعل الكيميائي المتزن مثله مثل الأرجوحة: فتتسبب إزالة أحد النواتج في إزاحة التفاعل لينتج المزيد من هذا الناتج. وإذا كان التفاعل طاردا للحرارة بشدة (exothermic : وهي كلمة أدخلت في ذلك العصر لتصف التفاعلات التي تنتج عنها حرارة)، فإن تبريده سيزيل هده الحرارة، ويتسبب في أن ينتج التفاعل المزيد من النواتج

والحرارة.

وقد اكتشف لوشاتيليه أن قاعدة الصنف لجيبس مفيدة على وجه الخصوص في بحوثه عن الميتالورجيا (التعدين) ـ (وقد توصل لوشاتيليه بنفسه إلى بعض أجزاء من قاعدة الصنف باستخدام مبدئه الخاص عن الاتزان)، وقد ظهرت معظم هذه البحوث في مجلة الميتالورجيا التي كان ينشرها هو وبناته. استخدم لوشاتيليه مبدأه كذلك في أبحاثه كمستشار لتغليف القذائف ـ وهو مركز كان يشغله إبان التفجر التلقائي الأنتروبيا، والطاقة الضائعة المعروف باسم الحرب العالمية الأولى.

ففي منتصف هذه الحرب ومع تنامي العداء بين فرنسا وألمانيا، كان لابد من ترجمة أعمال جيبس إلى اللغة الألمانية، لتصبح مقبولة من الجميع. ولحسن حظ جيبس فقد كان أحد أبطاله من ألمانيا: فريدريك ويلهلم أوزوالد.

فريدريك ويلهلم أوزوالد

كان فريدريك ويلهلم أوزوالد طالبا عاديا في البداية، يفضل أن يقضي وقته في جمع الحشرات والتصوير وأشغال الخشب وصنع الألعاب النارية، إلا أنه أصبح في النهاية واحدا من أكثر العلماء تأثيرا في زمانه. كانت اهتماماته في الكلية تتضمن الموسيقى والرسم، وإقامة علاقات اجتماعية مع زملائه الآخرين، وتمجيد الرومانسية عموما. وبعد أن تلقى تحذيرا من والده، تحسنت أموره الدراسية، وفي بداية الثمانينيات من القرن التاسع عشر، أصبح أستاذا للكيمياء.

رأى أوزوالد فائدة الديناميكا الحرارية وقاعدة تعادل الأطوار في الكيمياء، فقام بتدريسهما لطلابه. وفي الواقع أصبح أوزوالد مقتنعا بالعائد من النظرية الكيميائية، والذي يعد به التزاوج بين الفيزياء والكيمياء، حتى أنه أسس العلم الجديد للكيمياء الفيزيائية. وبدأ في إصدار أول مجلة في هذا المجال «المجلة الألمانية للكيمياء الفيزيائية»، في أواخر الثمانينيات من القرن التاسع عشر. وقد ظل يرفض النظرية الذرية لمدة طويلة ـ مشيرا إليها باسم «الفروض الذرية»[13] ـ وانتشرت المجادلات بين أتباع كل من أوزوالد وبولتسمان. غير أن كثيرين من الكيميائيين في ذلك الوقت، كانوا لا يرون أي منطق في هذه المجادلات. فبالنسبة لهم، كان اعتبار المواد مكونة

من ذرات والحرارة عبارة عن حركة يشكل المطلوب، وكان ذلك خط البداية.
ولم يكن الكيميائيون العضويون ينتظرون أن يصل الكيميائيون الفيزيائيون إلى قرار في ذلك، بل واصلوا العمل.

12 حوالى ١٨٣٠ ـ ١٩١٤ الكيمياء العضوية : النهوض من الوحل

ظل الكيميائيون دائماً مأخوذين بالمواد المستخرجة من الأنظمة الحية: خام الحياة.

ولنتذكر ما كان يعتبره فور كروي في القرن الثامن عشر فرصة عظيمة، أن يختبر المواد المتحللة التي يحصل عليها من نبش الجثث، وهي مهمة لا تصلح لمن يتصفون برقة حاسة الشم. وفي الحقيقة، بدأ مجال الكيمياء العضوية كدراسة لحساء يتكون من مواد غير مرتبطة ببعضها بوضوح، ومستخرجة من الحيوانات والنباتات، لكن بحلول القرن التاسع عشر قدم الكيميائيون العضويون مجموعة من النظريات لشرح ومنهجة هذا العلم، وقد كان شيئا ذا قيمة فعلا. ولم تكتف فراستهم بالتقدم على مسار فهم الكيمياء العضوية فحسب، بل ساهمت كأساس لفهم جديد للكيمياء ككل.

وفعليا تندرج جميع المواد المستخلصة من النباتات والحيوانات تحت اسم المركبات «العضوية» (أي المركبات التي تتضمن بعض أشكال الاتحاد

- الأيسومريه
- نظرية الشقوق
- نظرية الإبدال
- نظرية النواة ونظرية الأنماط
- نظرية البقايا
- التكافؤ

بين الكربون والهيدروجين).

وقد كانت النباتات والحيوانات موضع الاستقلال من قِبَل الكيميائيين تماما، مثل الأحجار التي ركزنا عليها حتى الآن. وقد استخدمت خلاصات الأعشاب كدواء، والكحول الإيثيلي للتحكم في الأمزجة. وترجع أصول الصابون والأصباغ إلى المنتجات النباتية والحيوانية، مثل أحماض كثيرة من ضمنها: حمض الخليك من النبيذ الحامض، وحمض اللاكتيك من اللبن، وحمض الستريك من الليمون، وحمض الفورميك (النمليك) من التقطير الجاف للنمل (كان السيميائيون يلقون بأي شيء تقع أيديهم عليه في البوتقة).

يتكون حوالى 98٪ من وزن الأنسجة الحية بعد تجفيفها من الكربون والهيدروجين مع بعض الأكسجين والنيتروجين المتناثر من أجل التنوع. والتنوع هو الهدف الذي تم التوصل إليه. وقد أمكن تقدير عدد المركبات العضوية، التي تحتوي عليها نوع من البكتريا بحوالى خمسة ملايين مركب عضوي. والكربون هو أساس كل هذه المركبات، وأساس الكيمياء العضوية هو كيمياء الكربون.

والسؤال الذي يطرح نفسه هو لماذا الكربون؟ فهو يشغل خانة واحدة في الجدول الدوري مثل باقي العناصر، وصورته المعدنية هى الكربونات ـ كما في كربونات الكالسيوم (الطباشير أو الجير) ـ لا تتميز بأي شيء واضح. ومع ذلك فإن للكربون خاصية فريدة في مركباته مع الهيدروجين: فذرات الكربون تكون سلاسل، طويلة وقصيرة ومتشعبة، سلاسل متحلقة (على شكل حلقات) أو على شكل عقد أو سلاسل معقدة التركيب لها بنية فراغية. (والعنصر الوحيد الآخر الذي يقترب من الكربون في مقدرته على تكوين سلاسل هو السيليكون، لكن روابط سيليكون ـ سيلكيون أقل ثباتا من روابط كربون ـ كربون: وهى تتأكسد في الهواء إلى روابط سيليكون ـ أكسجين ـ سيليكون التي تصنع مواد مثل الرمل)[1]. والمقدرة على تكوين السلاسل هي التي جعلت الكربون صانع مواد الحياة المعقدة.

ومن المعروف اليوم أنه في التعقيد الخاص بالكيمياء العضوية هناك اتساق. فمثلا يظهر العديد من الأحماض العضوية السلوك الكيميائي نفسه لأنها تحتوى المجموعة نفسها ـ مجموعة COOH أو مجموعة الكربوكسيل

الحمضية ـ ويمكن تصنيفها مع بعضها كأحماض كربوكسيلية. والكحولات فصيل آخر يتميز بوجود مجموعة OH. وهناك فصائل معروفة باسم الألكانات (مثل الميثان)، والألكينات (مثل الإيثيلين)، والألكانيات (مثل الأسيتيلين).

كان مصطلح «عضوي» أيام برزيليوس يغطي خليطا غير محدد من المواد لم تكن فصائله المختلفة قد صنفت بعد. وقد طور لافوازييه تقنية لتحليل المركبات العضوية وذلك بحرقها في الأكسجين: وكان الكربون يجمع على شكل ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين على شكل ماء. ومع إطلالة التحاليل الأكثر دقة لإزاحة الغموض عن مستنقع الكيمياء العضوية، فإن هذه التحاليل نفسها أخذت تحجب الرؤية. قام الكيميائي الألماني فريدريك فويدريك فوهلر في العشرينيات من القرن التاسع عشر بتحليل سيانات الفضة، ووجد أنها تتكون من 23, 77٪ أكسيد الفضة و 77, 22٪ حمض السيانيك. وقام في الوقت نفسه الكيميائي الألماني جوستوس لايبج بتحليل فولمينات الفضة، فوجد أنها تتكون من 53, 77٪ أكسيد الفضة و 47, 22٪ حمض السيانيك. بدا أن المركبين هما الشيء نفسه من التحاليل، لكن صفاتهما كانت جد مختلفة: فولمينات الفضة مادة متفجرة بينما سيانات الفضة غير متفجرة. وكان من الثابت في ذلك الزمن أن الصفات المختلفة للمركبات المتنوعة، كانت نتيجة اختلاف في نسبة العناصر المكونة لها. أصبح فوهلر متحيرا فضوليا، لكن الأمر كان بسيطا بالنسبة للايبج: كان فوهلر على خطأ. وقد اتضح فيما بعد أن الاثنين كانا على صواب.

الأيسومريه

فريدريك فوهلر وجوستوس لايبج

ومع أن الكيميائيين لم يتميزوا بسحر خاص، فإن فريدريك فوهلر كان رجلا دميما بشكل واضح. غير أن ذلك لم يمنعه من دراسة الكيمياء في كتب والده، وإنشاء معمل في بيت والده كذلك. وعندما التحق بجامعة هايدلبرج للدراسة كان يعرف الكثير الكيمياء، حتى أنه لم يتعين عليه حضور المحاضرات، وربما لم يحضر أيا منها أبدا. ولما بدأ في التدريس في برلين، كان معمله عبارة عن الغرف الخاصة بالكونت روجيرور (الذى شُنِق

بتهمة الخداع السيميائى). وليس معروفا بالضبط أي هذه الظروف قد تسببت في وداعة فوهلر وطريقته الرائعة في التعامل مع الحياة. وكان في استطاعته أن يعبر الأوقات العصيبة بلطف وسماحة مستعينا في ذلك بملكة الفكاهة. وقد يكون من حسن طالع الكيمياء أن فوهلر كان بهذا الشكل، وإلا لما كانت صداقته وتعاونه مع لايبج أمرا ممكنا. فقد كانت طريقة لايبج في التعامل مع الحياة أكثر شراسة وولعا بالقتال من فوهلر.

كان جوستوس لايبج ابن تاجر للأدوية والصبغات والزيوت والكيماويات في غرب ألمانيا، ولم يكن مجتهدا كتلميذ (وعندما أخبر المعلم أنه يتعشم في أن يصبح كيميائيا، تفجر الفصل والمعلم بالضحك). لكنه صار مهتما بالكيمياء في أثناء معاونته لوالده. وقد أصبح مندهشا عندما تعلم كيف يصنع فولمينات الفضة المتفجرة على يد مغنٍ في جوقة جوالة. كان عند أحد الصيادلة، وانتهت فترة تدربه بانفجار فولمِينات الفضة في أثناء إحدى التجارب، مما تسبب في تحطيم الصيدلية. وعندها أرسله والده إلى الجامعة ليدرس الكيمياء بعد أن تنسم ميله لذلك. وفي أثناء دراسته بالجامعة انتقل أستاذه وراعيه إلى بافاريا فتبعه لايبج. وهناك انخرط في منظمة سياسية طلابية، واعتقل واضطر للعودة إلى موطنه. وبوساطة بعض الأصدقاء تمكن أخيرا من الحصول على الدكتوراه، لكن الإحباط الذي عاناه من انعدام فرصة دراسة الكيمياء الحديثة بألمانيا، دفعه للسفر إلى باريس حيث عمل مع جاي لوساك.

وقد قبل وظيفة في جامعة ألمانية صغيرة في العشرينيات من القرن التاسع عشر. وقد استولى على ثكنات غير مستعملة ليجعلها معمل كيمياء. وقد عمل بلا هوادة على مدى 25 عاماً متتالية، ليجعل من هذه الجامعة الصغيرة مركزا لتعليم الكيمياء، كان يجذب الطلاب من جميع أنحاء أوروبا والولايات المتحدة والمكسيك. وفي أثناء ذلك أصبح لايبج شخصية موقرة، بنيت شخصيته الموقرة على أساس من نجاحه في الإدارة سواءً بسواء مع نجاحه في الكيمياء. وقد تكون أعظم اكتشافات لايبج هى كفاءة الفريق البحثي كوسيلة لتقدم العلوم. وإليه يرجع الفضل في ترتيب الباحثين علي شكل عالم كبير يرأس الفريق بينما يتبعه العلماء الشبان والطلاب.

كان دور الشخصية الموقرة يناسب لايبج تماما، فقد كان متكبرا مشاكسا،

كما كتب فوهلر ـ الذي أصبح صديقا له بعد ذلك مدى الحياة:

أنت تستهلك نفسك فحسب، وتغضب وتحطم كبدك وأعصابك ... فلتتخيل نفسك في العام 1900 (بعد عشرات السنين)، عندما يكون كلانا قد ذاب في حمض الكربونيك والماء والنشادر ويصبح رمادنا ... جزءا ... من كلب يكون قد نهب قبورنا[2].

لم يستطع فوهلر أن يقول هذا الكلام إلا بعد أن أصبح هوولايبج صديقين. ولم يكن أول لقاء لهما لطيفا، فقد رفض لايبج ببساطة أن يصدق نتائج فوهلر. غير أن إعادة التجارب أظهرت أن الكيميائيين كانا يختبران مادتين كيميائتين مختلفتين لهما النسب نفسها من نفس العناصر نفسها. من هنا بدأ التعاون بينهما. وقد توصلا ليس فقط إلى أن كلا من حمض السيانيك والفولمنيك لهما التركيب العنصري نفسه، بل هناك مركب ثالث (حمض الأيزو سيانيك) له تركيب مطابق.

ومن المقبول اليوم أن الفرق في السلوك الكيميائى لهذه المركبات ناشئ عن الاختلاف في ترتيب العناصر في هذه المركبات: فنسبة عناصر الكربون والهيدروجين والنيتروجين والأكسجين هى 1 : 1 في كل من حمض السيانيك وحمص الأيزو سيانيك، لكن تسلسل الروابط في حمض السيانيك هو هيدروجين ـ أكسجين ـ كربون ـ نيتروجين (HOCN) بينما لحمض الأيزوسيانيك التسلسل هيدروجين ـ كربون ـ نيتروجين ـ أكسجين (HCNO). ومع أن جاي لوساك قد اقترح هذا السبب، وقام برزيليوس بتسمية الظاهرة أيسومريه ليصف المواد التي لها التركيب الكيميائى نفسه، لكن صفاتها تختلف قبل نتائج فوهلر ـ لايبج، إلا أن معظم الكيميائيين ظلوا غير مقتنعين بذلك. غير أنه مع ظهور نتائج فوهلر ـ لايبج اتضح أن هناك دليلا واضحا على أن ترتيب العناصر له دور ما فى تحديد التفاعل الكيميائي. لكن ترتيب أي شيء؟ ترتيب الذرات. وبدأت تظهر صورة تخمينية (حدسية) للمركبات التي تتكون من ترتيب معين للذرات. لم يقنع فوهلر بإكليل الغار، بل استمر في تجاربه على السيانات. وفي أثناء إحدى محاولاته لتحضير سيانات الأمونيوم لاحظ شيئا غير عادي في الناتج. لقد كان له التركيب الكيميائي نفسه مثل أحد النواتج الطبيعية (اليوريا ـ البولينا، من البول) وله الفاعلية نفسها أيضا. لقد وجد أن هذين المركبين (الطبيعيين وناتج تفاعلاتهما) متماثلان في كل شيء. لقد تمكن فوهلر للمرة الأولى من صنع

مادة طبيعية من كيماويات غير عضوية خارج جسم حي. وكتب لبرزيليوس يقول:

لا يمكنني أن أظل محتفظا بالبول الكيميائي سرا بعد الآن، وعليّ أن أعلن أنني أستطيع صنع البولينا (يوريا) دون الحاجة إلى كلية من إنسان أو كلب، فملح حمض السيانيك مع الأمونيا هو البولينا (يوريا)[3].

وحتى هذه اللحظة، كانت المركبات العضوية تفصل من مواد نباتية أو حيوانية فقط. وفي الحقيقة، كان بعض الكيميائيين يعتقدون أن تحضير الكيماويات العضوية يتطلب نوعا من القوة الحيوية، لا توجد إلا في الكائنات الحية. كانت هذه النظرية تسمى النظرية الحيوية (نظرية القوة الحية)، ولم يكن لها إلا القليل من المؤيدين الجادين أيام فوهلر، غير أنها لم تدحض حتى ذلك الحين.

وصار اكتشاف فوهلر مسمارا في نعش هذه النظرية. وقد أعطى هذا الاكتشاف ثقة جديدة للكيميائيين العضويين وبدأوا يمارسون أعمالهم في حماس. وجرب فوهلر ولايبج تيار الكيمياء العضوية كما فعلا مع الكيميائي الفرنسي جين بابتيست أندريه دوما.

جين بابتيست أندريه دوما

كان لابد أن يصير دوما ولايبج وفوهلر رفاقا قريبين من بعضهم البعض لتقاربهم في السن والخلفية والاهتمامات، لكن الاختلاف الصغير بينهم أصبح كبيرا. كان دوما مولودا في فرنسا، بينما ولد فوهلر ولايبج في الولايات الألمانية. وبينما كان الألمان يتلمسون طريقهم نحو صفة قومية جديدة لهم، فإنهم وجدوا أنفسهم في جوار أمم عظيمة وقديمة، ولذلك فقد اتخذوا موقف المدافع في كل المجالات بما في ذلك العلوم. وكان العلماء الألمان يمتعضون لتفوق العلماء الفرنسيين. وكان كل اكتشاف فرنسي يقابل بتحدٍّ، وكان هذا التحدي، وقتها، هو عبقرية لايبج والعلوم بالدرجة نفسها. ومع ذلك فقد اضطر لايبج إلى الاعتراف بمهارة دوما: «دائما يسبب لي هذا الزميل إزعاجا، فعلى الرغم من عدم النظافة والطريقة السيئة وغير المقبولة التي يعمل بها... إلا أنه يجلب من كمه روائع بمعاونة الشيطان نفسه!»[4] لكن دوما كان شهما رحب الصدر، ذلك لأنه كيميائي

فرنسي في عالم تسيَّد فيه الكيميائيون الفرنسيون مما يستدعي إظهار الشهامة.

ولد دوما في العام 1800، وكان يخطط ليصبح بحارا، إلا أن الجو السياسي السائد في فرنسا، في بداية القرن التاسع عشر، جعله يقرر أن من الأفضل دراسة العلوم (أو من الأسوأ باعتبار المصير الذي لاقاه لافوازييه. أمضى دوما فترة التدريب الاساسي في صيدلية، ثم استقر ليدرس في المراكز الأكاديمية في جنيف. وعمل مساعد محاضر مع لويس ثينارد ثم خلفه في البوليتكنيك وخلف جاريـ لوساك في السوربون. وبهذا التاريخ العلمي والعبقرية الواضحة أصبح دوما في فترة وجيزة، أكثر الكيميائيين الفرنسيين شهرة في عصره.

كان دوما على دراية بفروع الكيمياء، وبتراكم أعداد المركبات العضوية التي فصلت وتم تحليلها، بدأ دوما يرى أنساقا لها. وأفادت النظرية الثنائية لبرزيليوس (التي تقرر أن التجاذب بين الشحنات الكهربية الموجبة والسالبة هو علة تماسك المركبات) في الكيمياء غير العضوية (المجال الذي يتعامل مع مركبات غير مصنفة عد أنها عضوية التي ليست عضوية)، وكان لافوازييه قد استخدم فكرة الشقوق في أثناء تقسيمه للأحماض، وهي مجموعة من العناصر داخل المركب تعمل معا كوحدةمستقلة. جمع دوما بين هاتين الفكرتين ليخلص إلى وجود شقوق عضوية: مجموعة من العناصر داخل المركب العضوي تعمل معا كوحدة مستقلة.

نظرية الشقوق

Radical Theory

عندما كان دوما يعمل مع الصيدلاني بيير فرانسوا جويلوم بولاي افترض أن مجموعة الإيثلين (سلسلة من ذرتي كربون) يمكن أن تعمل كشق أساسي للكحول وللمركبات القريبة منه. وقد تلقى مفهوم الشقوق دعما عندما قام لايبج وفوهلر بنشر أبحاثهما عن زيت اللوز المر. فقد وجدا عائلة من المركبات (حمض البنزويك، والبنزوين، والبنزالدهيد، وكلوريد البنزويل، وبروميد البنزويل، ويوديد البنزويل، وسيانيد البنزويل، وبنزويل أميد، وأستر بنزويل إينيل) وتحتوي كلها على شق البنزويل مشتركا فيها جميعا، تلقى

برزيليوس هذا الاكتشاف بحماس شديد، رغم أنه كان فاترا تجاه مفهوم الشقوق عندما قدمه دوما لأول مرة، لأنه أصبح هناك الآن شق يحتوي على الأكسجين، العنصر ذي الكهربية السالبة، والذي يمكن أن يتحد مع شق له كهربية موجبة محتفظا بنظريته عن الازدواج صالحة.

بدأ البحث حثيثا للتعرف على الشقوق المختلفة، فوجد دوما شق الميثيل، وقام روبرت ويلهلم بنزن باختيار مركبات شق الكاكوديل (فئة من المركبات كريهة الرائحة وسامة وأحيانا متفجرة تحتوي على الزرنيخ)، وعزل ما يمكن أن يكون شقا حرا. كان ذلك بالفعل مركبا من شقين مرتبطين ببعضهما البعض، وقد دعم ذلك من فكرة أن الشقوق مستقرة ويمكن عزلها كوحدات، ومعاملتها على أنها «عناصر» عضوية. لم يطور بنزن هذه الأبحاث بعد ذلك لأن انفجار سيانيد الكاكوديل كلّفه إحدى عينيه وملازمة الفراش مصابا لعدة أسابيع (وتخلص من الكيمياء العضوية عموما).لكنه قام باجتهادات أخرى ناجحة فيما يتعلق بالكيمياء، وذلك باختراع موقد غازي يسمى موقد بنزن، والذي ما زال يشكل أحد الأجهزة الأساسية للمعامل.

وباكتشاف بنزن للشقوق الحرة، بدا وكأن نظرية الشقوق قد استقرت، ودار النقاش فقط حول ما إذا كانت المجموعات المختلفة شقوقا حقيقية. إلا أن السلام لم يدم طويلا

نظرية الإبدال

Substitution Theory

ذات مساء وفي أثناء حفل ملكي راقص في قصر التيلور بباريس، انتابت الضيوف الأرستقراطيين نوبات من السعال بفعل أدخنة لاذعة كانت تنبعث من الشموع. استفز الحادث منظمي الحفل، واستفسروا من مورد الشموع الذي تصادف أن كان هو والد زوجة دوما، عن السبب في ذلك. حوَّل مورد الشموع السؤال بدوره لدوما، الذي اكتشف أن الغاز المسبب للسعال هو كلوريد الهيدروجين، وهو غاز حمضي. ويبدو أن بائع الشمع كان قد وقع على طريقة جديدة لتبييض شحنة شمع صفراء، وذلك بتسخينها في وجود غاز الكلور. وعند اشتعال الشمع الذي بُيض بالكلور، انبعث غاز كلوريد الهيدروجين. وفي أثناء إجرائه لهذه الاختبارات وجد دوما أن كثيرا من المركبات العضوية إذا

عولجت بالكلور، فإن الأخير يحل محل بعض الهيدروجين فيها.

لم تعجب الفكرة برزيليوس، الكيميائي المخضرم، لأنها لا تتوافق مع نظريته الثنائية، فكيف يحل عنصر سالب مثل الكلور محل عنصر موجب مثل الهيدروجين. لكن فاراداي كان قد أجرى مثل هذه التفاعلات، كما فعل لاييج وفوهلر عندما قاما بتحضير كلوريد البنزويل من البنزالدهيد. وقد قيل حتى أن الكلور يمكن أن يحل محل الكربون من دون أن تتأثر كثيرا خواص المركب. وقد كتب فوهلر ـ هذا المخضرم الثابت ـ إلى برزيليوس ولاييج بخصوص الاكتشاف الوهمي، الذي يقال عنه إن كل العناصر في أسيتات المنجنيز الرباعي قد حل محلها الكلور بانتظام، وذلك عندما اعتقد فوهلر أن الأمور قد سارت أبعد من اللازم.

لقد وجدت أنه يتكون من 24 ذرة كلور وذرة ماء واحدة.... ومع أنني أعرف أنني في أثناء عملية التبييض بالكلور هناك إحلال للهيدروجين بواسطة الكلور، وأن الأقمشة المبيضة في إنجلترا... تحتفظ بنوعها، إلا أنني أعتقد على الرغم ذلك أن استبدال الكربون بالكلور، ذرة بذرة، هو اكتشافي الخاص. أرجو أن تنوهوا بذلك في مجلتكم...[5].

وقد تفوق عليه لاييج، وقام بنشر الخطاب في المجلة التي يحررها موقعا بالاسم S.C.H.Windler (وكلمة Schwindler بالألمانية تعني Swindler، أي المخادع)، ثم أضاف ملحوظة في أسفل الصفحة من دون توقيع:

لقد عرفت لتوي أن هناك أقمشة من الكلور المغزول في محلات لندن، وهي مطلوبة بشدة للمستشفيات، ومفضلة في صنع القلنسوات والسراويل...[6].

واصل برزيليوس هجومه على نظرية الإبدال، وقدم نظرية أخرى هى نظرية الارتباط، والتى يقول فيها إن الكلور يتسبب في إعادة ترتيب الشق بصورة مغايرة جدا عندما يرتبط بالهيدروكربون، ولم تحظ هذه المقولة أو الفكرة بالإعجاب، لأن المركبات لم تظهر تغيرات جذرية في خواصها الكيميائية، لذا فقد رفضت النظرية بشكل عام. احتج برزيليوس بحدة على ذلك لكن، لم يستمع لاحتجاجه إلا القليلون. فقد كان الكيميائيون الشبان مثل أوجوست لورنت يصيخون السمع إلى دوما.

نظرية النواة ونظرية الأنماط

أوجوست لورنت

ولد لورنت في إحدى القرى الصغيرة في فرنسا لأب كان يعمل تاجر

نبيذ، وقد تعلم لورنت تحت إشراف دوما. جمع لورنت بعد ذلك بين العمل المؤقت في مجال الكيمياء، في صناعة البورسلين والعطور والمشروعات الصناعية والأستاذية وتعليم الكيمياء وإجراء البحوث الخاصة. ولأنه كان دائم الصدام مع القائمين على أمور مؤسسة الكيمياء، ولأنهم لم يعترفوا به، فإنه لم يحظ بالمناصب التي كانت تستحقها عبقريته. وقد أصيب بالسل في سن مبكرة، ومات محبطا وهو، بعد، في سن الشباب. وقد أوصلته أبحاثه - في مجال الإبدال بالكلور - إلى نظرية النواة، وهى صورة معدّلة عن نظرية الشقوق. وتبعا لهذه النظرية - نظرية النواة - فإن المركبات تتكون من أنوية (شقوق) يمكن أن يحدث بها الإبدال. كانت الأنوية الأصلية تتحول إلى أنوية مشتقة تحتفظ بالكثير من خواص الأنوية الأصلية. وقد أثار لورنت بهذا التعديل - الذى بدا وكأنه تعديل طفيف - عاصفة وأى عاصفة.

قال عنها لابيج إنها نظرية غير علمية، أما برزيليوس فقد فهم خطأ أن دوما صاحب هذه النظرية، فقال إن الأمر كله لا يستحق عناء التعقيب عليه. ولما وجد دوما أن مشرِّع الكيمياء قد انتقده، قام بسرعة بالتبرؤ من المسؤولية قائلا إنه فقط كان قد لاحظ أن المركبات التي تأخذ الكلور بدت وكأنها تفقد كمية مساوية من الهيدروجين، وإننى غير مسؤول عن المبالغة الكبيرة التي تناول بها لورنت نظريتي؛ وإن تحاليله لا تستحق أي ثقة»[7] وفيما بعد، حضّر دوما حمض الخليك الذى استبدل فيه الهيدروجين بثلاث ذرات من الكلور (ثلاثى كلورو حمض الخليك) ولاحظ أن خواص هذا الحمض وتفاعلاته مشابهة لحمض الخليك، فإنه توصل إلى نظريته الخاصة عن الأنواع، حيث الأنواع هى وحدات بناء المركبات العضوية، وفي هذه الأنواع يمكن أن يحل الكلور محل الهيدروجين.

والتوافق واضح الآن بين هذه النظرية وإنكار لورنت - كما كان واضحا أيامها - للورنت نفسه الذى قال:

«لم أستطع التخلص من الشعور بالسخط لدى رؤية كيميائيين معينين يصفون نظريتي في البداية بأنها منافية للعقل، ثم بعد ذلك بمدة طويلة، عندما يرون أن الحقائق تؤيد نظريتى ... يّدعون بأنى أخذت بعض الأفكار من دوما.، فإذا فشلت النظرية كنت أنا صاحبها، أما إذا نجحت فإن صاحبها

شخص آخر ...»[8].

إلا أن دوما كان دون منازع الكيميائي الأول، لذلك لم يكن هناك خيار أيام لورنت، على الرغم من سخطه، سوى أن يجري تجاربه على نفقته الهزيلة، حيث لم تحظ أفكارها باعتراف مقبول. ومع ذلك، فقد كان هناك واحد من أبطاله هو: تشارلز فريدريك جيرهارت.

نظرية البقايا

تشارلز فريدريك جيرهارت

كان والد جيرهارت من صناع الرصاص الأبيض في شمال فرنسا ولذا فقد حاول جيرهارت أن يعمل مع والده، إلا أن خلافاتهما لم تكن تسمح بذلك. ولم يكن جيرهارت ينسجم مع كثيرين من الناس، وكان الاستثناء الوحيد هو لورنت. وقد حرمته مشاحناته مع دوما من تأمين عمل له في باريس، مما جعله يعتمد على الدروس الخصوصية، وعلى كتابة موضوعات في الكيمياء العضوية وعلى العطايا التى كان يمنحه إياها أقارب زوجته عند زيارته لهم. وقد طور نظرية البقايا وكتبها في كتبه. وتبعا لهذه النظرية، فإن مواد غير عضوية فائقة الثبات مثل الماء وثاني أكسيد الكربون تتكون كنواتج من تفاعلات المركبات العضوية وتتحد الشظايا العضوية المتبقية، بعد انتزاع الماء وثاني أكسيد الكربون، لتكون مركبات عضوية جديدة. كانت هذه النظرية تحمل تماثلا مع نظرية الأنماط، مع وجود فارق مؤثر، هو أن هذه البقايا لم تكن تعتبر أجزاء منفصلة غير قابلة للانقسام داخل المركب، ولم تكن تملك خاصية كهربية موجبة ولا سالبة.

وقام جيرهارت في كتاباته بتقسيم المركبات في خارطة تضم مجموعات من هذه المركبات تتشابه في تفاعلاتها، مثل الكحولات، لكنها تختلف في عدد ذرات الكربون المكونه لها: سلسلة متماثلة، وهو الاسم والمفهوم الذى مازال يستخدم حتى اليوم. وقد هبت عاصفة أخرى لأن دوما كان قد فعل الشيء نفسه بالنسبة للأحماض الدهنية، ولذلك ادعى الأسبقية في ذلك ومع هذا، فإن كيميائيين آخرين من ضمنهم لورنت استخدموا الفكرة نفسها لكنها لم تلق ترحيبا من كل من جيرهارت ودوما. وأيا ما كان مصدر خارطة التقسم، فإنها قامت بتعضيد نظرية الأنواع، على الرغم من أن مفهوم النوع

أصبح الآن أكثر مرونة.

وحُددت آنماط جديدة يمكن أن تشكل أساسا لسلاسل متماثلة، مثل الأمونيا (النشادر)، والتى تتكون من ذرة نيتروجين مركزية محاطة بثلاث ذرات هيدروجين والتى عُرِّفت كنمط. ولدى إحلال شق هيدروكربوني محل ذرة أو أكثر من ذرات الهيدروجين الأصلية فإن المركب المتكون هو الأمين (عضو في فصيل من المركبات هى المسؤولة عن الرائحة التى تنبعث من الأغذية البحرية المتحللة- رائحة السمك). وقد اعتبرت الأمينات ـ والتى تتميز بالمجموعةNR3 (R أي شق هيدروكربوني)-من نوع الأمونيا. ويتكون الماء من ذرة أكسجين مركزية وذرتي هيدروجين، وفي نوع الماء تحل مجموعة هيدروكربون محل واحدة من ذرتي الهيدروجين. والمركب الناتج هو الكحول الذي يتميز بمجموعة OH. وتسمى هذه المجموعات المميزة الآن باسم المجموعات الوظيفية، كما أن نفس طراز خارطة تقسيم المركبات على أساس المجموعات الوظيفية يستخدم اليوم في الكيمياء العضوية.

وقد كان الاعتراف بهذه الأنماط المختلفة تقدما مهما على طريق فهم تفاعلات المركبات العضوية، لكن جاءت الخطوة التالية في التقدم المهم من إدوارد فرانكلاند، الكيميائي الذي كان يحاول الإساءة إلى أول نظرية عن الأنماط لدوما.

التكافؤ

إدوارد فرانكلاند

بدأ الكيميائي البريطاني إدوارد فرانكلاند حياته بطريقة غير نمطية من دون أب شرعي، لكنه بدأ تاريخه الكيميائي بطريقة تقليدية، وذلك بالتتلمذ على يد صيدلاني. وكان مقدرا له أن يظل صيدلانيا لولا تدخل طبيبين ساعداه في الحصول على وظيفة في معمل متحف الجيولوجيا الاقتصادية. وهناك التقى بأشهر كيميائي ألماني في ذلك الوقت، أدولف ويلهلم هيرمان كولب. تعلم فرانكلاند الكثير من كولب، الذي أهله ليتتلمذ على يد بنزن ويحصل على درجة الدكتوراه، ثم يدرس مع لاييج. وفي سياق التجارب التي قصد بها فرانكلاند إظهار صحة نظرية الرابطة لبرزيليوس والتي أجراها حوالى العام 1850، قام فرانكلاند باختبار التفاعلات بين فلز

الزنك (الخارصين) ويوديد الإيثيل في أنبوب محكم الإغلاق ومعرض لضوء الشمس أو مغمور في حمام زيتي ساخن. وقد اكتشف أن بعض المادة العضوية اتحد مع الزنك، طبق فرانكلاند- المأخوذ بهذه النتائج - دراسته على مركبات الزئبق والأنتيمون وعناصر فلزية أخرى. لاحظ في أثناء دراسته لهذه العائلة من المركبات الجديدة) المواد العضوية المتحدة بالفلزات أو المركبات العضوية الفلزية- أنه يبدو أن هناك «ثباتا في القيمة القصوى للاتحاد... في العناصر الفلزية والتي لم يشك فيها أحد من قبل[9] وكان مقدرا لهذه القيمة العظمى الثابتة للاتحاد أو التكافؤ، أن تصبح عاملا حيويا في فهم كيمياء الكربون وكل الكيمياء في الواقع.

وحتي ندرك معنى التكافؤ أو المقدرة على الاتحاد لننظر في المقولة «أنا أملك يدين»، والتي يمكن إعادة صياغتها لتصبح للإنسان تكافؤ 2. أما القردة فإنها تستطيع الإمساك بأربعة أشياء، لذلك فللقردة تكافؤه 4. وقد وجد أن للكبريت ميلا للاتحاد بذرتين أخريين لتكوين المركبات، ولذا فتكافؤه 2. وقد وجد أن الكلور يتحد مع ذرة أخرى فقط، ولذلك فإن له تكافؤ 1. ووجد للكربون تكافؤ 4. وقد جعلت هذه الملاحظة الكيميائيين العضويين ينتبهون.

الكربون رباعي التكافؤ

فريدريك أوجست كيكولي وأرشيبالد سكوت كوبر

كان فريدريك كيكولي يدرس العمارة، لكن محاضرات لايبج أثرت فيه بشدة لدرجة أنه قرر دراسة الكيمياء. أما كوبر، فقد كان يدرس الفلسفة في جلاسجو وهو في أواخر العشرينيات من عمره، عندما استحوذت الكيمياء على اهتمامه، فذهب إلى باريس ليدرسها. وقد عمل في معمل تشارلز أدولف فورتز، الكيميائي البارز، والذي كان من أوائل من أجروا أبحاثهم على نوع الأمونيا. وفي أثناء عمله في معمل فورتز، وفي أوائل العام 1858، كتب كوبر بحثاً بعنوان «حول نظرية كيميائية جديدة»، والذي تضمن - ربما لأول مرة - مقولة عن التكافؤ الرباعي للكربون ومقدرته على تكوين سلاسل. وقد سأل كوبر فورتز أن يساعده ليتمكن من قراءة بحثه في أكاديمية العلوم الفرنسية، غير أن فورتز لم يكن عضوا في الأكاديمية

(كان لابد لجميع الأبحاث أن تعضد من قبل أحد الأعضاء)، ولذلك تأخر بحثه ريثما يحصل على تعاون من أحد الأعضاء. وبعد بضعة أشهر ظهرت مقالة ليكولي بها الأفكار نفسها. أصيب كوبر بإحباط شديد حتى أنه غضب على فورتز وانتهى الأمر بطرده من المعمل. وقد اقتنع دوما بأن يعضد بحث كوبر الذي قرئ أخيرا يوم 14 يونيو 1858. وقد طبع البحث في مايو 1858. وقد شهد العام التالي إصابة كوبر بمرض عقلي (والذي يبدو أنه قد بانت شواهده في أثناء وجوده في معمل فورتز) تلقى على أثره علاجا بالمستشفى. أفرج عنه ثم دخل مرة ثانية إلى المستشفي، ثم أفرج عنه أخيرا تحت رعاية والدته. عاش بعدها كوبر حوالى 30 سنة، لكنه أبدا لم يسترد مقدرته الذهنية. وقد وصفه أحد المطلعين بأنه «حطام»(10). عاش بقية حياته يرعى الزهور.

ودون النظر إلى الأسبقية، فإن رواية كيكولي تستحق الجائزة لرومانسيتها. فكما ذكر، جاءته فكرة تكون سلاسل الكربون في الحلم:

في أثناء إقامتي في لندن، أقمت لمدة معقولة في طريق كلابهام بجوار مجلس العموم. لكنني كنت أمضي أمسياتي مع الصديق... في الطرف الآخر للمدينة الكبيرة. وكنا نتحدث في أمور كثيرة، لكن في معظم الأوقات عن محبوبتنا الكيمياء. وفي إحدى الأمسيات الصيفية الرائعة، كنت عائدا بواسطة الباص «في الخارج» كالعادة مخترقا الشوارع الخالية والتي تموج بالحياة في الأوقات الأخرى. أخذتني غفوة كأنها حلم يقظة، وأخذت الذرات تتواثب أمام عيني. وكنت أراها تتحرك كثيرا قبل ذلك على شكل أشياء دقيقة، لكنني لم أنجح في تمييز طبيعة حركتها. لكن في هذه المرة رأيت كيف كانت كل ذرتين صغيرتين تتحدان بشكل متكرر لتكونا أزواجا، وكيف تأتي ذرة أكبر لتحتضن الذرتين الصغيرتين، وكيف كانت تأتي ذرات أكبر من ذلك لتحتضن ثلاث أو أربع ذرات صغيرة، والجميع يحوم في رقصة طائشة. ورأيت كيف كونت الذرات الأكبر سلسلة جارة وراءها الذرات الأصغر... ثم أيقظتني صيحة الكمساري «طريق كلابهام» من حلمي. لكنني أنفقت جزءا من الليل أخط على الورق أشكالا تقريبية لما رأيته في حلمي. وهكذا بدأت نظرية البنية(11).

تطورت نظرية البنية للمركبات الكيميائية بمعدلات سريعة بعد هذا الإنجاز. وقد رأى كيكولي، بما له من مقدرة عظيمة على التخيل، الرباط الكيميائي بوضوح، لكنه رسمه على شكل سحابة غير منتظمة تربط بين الذرات. ومع أن هذه الأشكال قريبة لمفهومنا الحالي عن الأربطة، إلا أنه كان من الصعب رسمها أو جعلها تتواءم مع الأنواع وكان يشار إلها باسم

«مقانق كيكولي» من قبل الكيميائيين الآخرين الذين كانوا يفضلون تمثيل الروابط بخطوط مستقيمة.

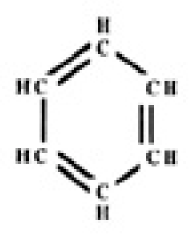
والتكافؤ الرباعي يعني أن الكربون يرتبط بأربعة أشياء. وتتشكل أبسط سلاسل الهيدروكربونات من ذرات الكربون المتصلة ببعضها البعض بواسطة روابط أحادية مع عدد من ذرات الهيدروجين ليكتمل عدد الارتباطات. فأبسط مركب يحتوي على ذرتي كربون (الإيثان)، يتكون من ذرتي كربون مرتبطتين ببعضهما، وثلاث ذرات هيدروجين على كل طرف: CH3-H3C. غير أنه يمكن أن يتكون رباط مزدوج بين ذرتي الكربون، الأمر الذي يعني أن عددا أقل من ذرات الهيدروجين مطلوب لتكملة التكافؤ الرباعي. فيتكون الإيثيلين من ذرتي كربون متصلتين برباط مزدوج وذرتي هيدروجين على كل طرف: CH2=H2C. ويتكون الأسيتيلين من ذرتي كربون مرتبطتين برباط ثلاثي وذرة هيدروجين على كل طرف:HC=CH. ويقال للهيدروكربونات التي تحتاج إلى عدد أقل من ذرات الهيدروجين نظراً لوجود الأربطة المتضاعفة إنها غير مشبعة (أما الهيدروكربون المشبع فيتكون من أكبر عدد ممكن من ذرات الهيدروجين). وتميل الهيدروكربونات غير المشبعة إلى أن تكون أكثر نشاطا في التفاعلات من نظائرها المشبعة. وسرعان ما اكتسبت مفاهيم الأربطة المزدوجة والأربطة الثلاثية والتشبع قبولا بعد أن جاء بالكربون بالكوربون رباعي التكافؤ. لكن البنزين ظل سرا مختلقا لفترة.

ولأن البنزين مكون من ست ذرات كربون وست ذرات هيدروجين، فقد قدح الكيميائيون أذهانهم فوق معضلة الكيفية التي تنتظم بها سلسلة من ست ذرات كربون مع ست ذرات هيدروجين. وتظل محتفظة بالكربون رباعى التكافؤ. وقد توصل كيكولي إلى تسمية المركبات المشتقة من البنزين بالعطرية «الأروماتية» لرائحتهااللطيفة، وقد توصل إلى بنية هذه المركبات في أحد أحلامه كما قرر هو ذلك:

ومرة أخرى كانت الذرات تتواثب أمام عيني. لكن في هذه المرة كانت الذرات الأصغر تتوارى في الخلفية. وقد تمكنت عيوني الذهنية من أن تكون أكثر حدة في استخلاصها وتتميز ها للبنى الكبرى بالتعديلات المختلفة نظرا لتكرار المنظر نفسه: كانت صفوف طويلة تتراص بجوار بعضها وقد أخذت تتزامل في أزواج وتتلولب في حركة ثعبانية. لكن انظر لقد أمسكت إحدى هذه الحيات بذيلها نفسه ثم أخذت تدور وتلف أمام عيني في تحدٍ. فاستيقظت كما لو كان بارقا من نور قد لمع أمامي، وفي هذه المرة كذلك أنفقت بقية الليل أعمل على تداعيات هذه الفرضية[12].

وهكذا سجل كيكولى لنفسه نصرا آخر باكتشافه البنية الحلقية للبنزين. انظر الشكل (1 :12).

ومع ذلك فقد فاته الكشف المهم الذي تلا ذلك. ومن المثير أن كيكولي، فيما يبدو، كان ملتزما بالتفكير في بعدين (في مستوى واحد) على الرغم من التدريب الذى حصل عليه كمعماري وخياله المعروف، لكن ذلك كان طبيعة العصر. وكان على الذين تراجعوا عن ذلك، وبدأوا التفكير في ثلاثة أبعاد أن يتحملوا النقد والتشكك.



الشكل (1 :12) بنية كيكولي الحلقية للبنزين، ويتكون الجزيء من ست ذرات كربون وست ذرات هيدروجين. وقد أيقن كيكولي أن الحلقة المكونة من ست ذرات كربون في وجود أربطة مزدوجة بالتبادل بينها قد تحفظ للكربون تكافؤه الرباعي، لكن هناك الكثير لنقوله عن البنزين كما سنرى.

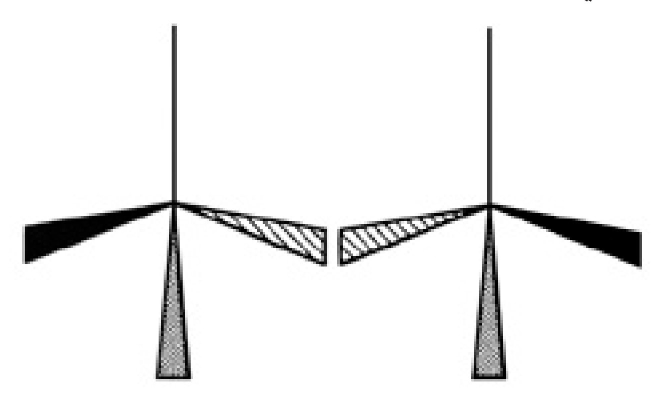
الكيمياء في ثلاثة أبعاد

لويس باستير

تبدأ القصة بلويس باستير المشهور باكتشافاته في الميكروبيولوجيا والكيمياء الحيوية (والذى ندرس حياته من هذا المنطلق)، لكنه حسب تدريبه الأولي كان كيميائيا. وقد بدأ باستير تاريخه ككيميائي في العام1840 بالعمل في المعمل نفسه الذى عمل به لورنت. وقد كان لورنت مهتما بالألوان الجميلة المتعددة، والأشكال المختلفة للبلورات مثل بلورات الكوارتز الطبيعية التى على شكل رماح سداسية، أو رقائق بلورات الجليد، مثله في ذلك مثل أي كيميائي من عصره أو سابق عليه. وقد تقاسم لورنت هذا الاهتمام مع باستير وشجعه على دراسة بلورات أملاح حمض الترتريك الخادعة.

ويسمى حمض الترتريك الآن باسم المركب الكيرالى (الكفّي)، أي أنه يملك خاصية «الكفية». فإذا نظرنا إلى اليد اليسرى لوجدنا أنها مماثلة

لليد اليمنى لكنها أيضا مختلفة تماما فاليد اليسرى صورة في المرآة لليد اليمنى. هذا لأن اليدين لهما قمة وقاع؛ فهما مجسمتان في ثلاثة أبعاد. فإذا اقتطعنا كفين (يدين) من الورق لايمكن التمييز بينهما لأنهما في بعدين (مسطحين)، ويمكن أن ينطبقا على بعضهما، أما اليدان (الكفّان) الحقيقيتان فلا يمكن لهما ذلك وكذلك الحال مع المركبات الكيميائية: فإذا كانت تتكون من أربع ذرات أو مجموعات مختلفة حول ذرة مركزية وكانت مسطحة، فلا يمكن التمييز بينها. أما إذا كانت المجموعات المختلفة مرتبة حول الذرة المركزية مكونة رباعي الأسطح في ثلاثة أبعاد (قاعدة من ثلاثة أرجل ورجل أخرى تشير عموديا إلى أعلى كما في الشكل (2: 12)، فإن هناك طرقا لترتيب هذه المجموعات بحيث نحصل على صورتي مرآة لبعضهما. والمركبات بذلك كفية.



الشكل (2: 12) الرباعي الأسطح ثلاثي الأبعاد، وشكله مثل كرسي بثلاث أرجل ورجل إضافية من أعلى. فإذا كان الجزيء يتكون من ذرة في مركز رباعي السطح وذرة مختلفة في كل رجل فإن له خاصية الكفية، أي أنه قد تشكل في إحدى بنيتين كل منهما صورة مرآة للأخرى، مثل اليد اليمنى واليد اليسرى.

والكفية على هذا المستوى الجزيئي لها ظواهر تظهر على المستوى الماكروي (الكبير). فمثلا يؤثر المركب الكفي في الضوء المستقطب. والضوء عبارة عن مجال كهرومغناطيسي متحرك ومتذبذب. وهو عادة يتذبذب في جميع الاتجاهات المختلفة. غير أنه يمكن استبعاد بعض الاتجاهات (كما في حالة نظارات الشمس من نوع بولارويد)

تاركـين الضــوء المستـقـطـب فـي مستـوى (Plane - Polarized) الـذي تقـع ذبذباتـه فـي مستـوى واحـد. فـإذا مـر الضـوء المستقطب فـي مستـوى خـلال مـادة كفيـة فـإن مستوى الضـوء الـذى يثيـر المـادة سيـدور ليصنـع زاويـة مع مستوى الضوء الداخل. وتسمى هذه الظاهرة بالنشاط الضوئي. وقد كانت بعض البلورات مثل الكوارتز الطبيعي (ثاني أكسيد السيليكون) معروفة بنشاطها الضوئي، لكن جين بابتيست بيوت، وهو من المشتغلين بعلم البلورات، أول من لاحظ النشاط الضوئي عند مرور الضوء في السوائل أو محاليل المواد الطبيعية مثل التربنتين.

وحمض الترتريك هو الآخر ناتج طبيعى يوجد في العنب، وهو ناتج ثانـوي فـي صنـاعـة النبيـذ. وكـان مـن المعلـوم أن المركبـات الكفيـة تنتـج فـي الحيوانـات والنباتـات غالبـا فـي شكـل واحـد مـن الشكلـين، لذلـك فـإن المنتجات الطبيعية غالبـا مـا تتكـون لهـا خاصيـة «الكفيـة». ولكــن في ذلـك الوقـت لـم يكـن معروفـا سـوى أن حمـض الترتريـك المستخلـص من العنب له نشاط ضوئـي. لكـن كانـت هـنا كصـورة أخـرى مـن حمـض الترتريـك تسمـى حمـض الراسميـك، والتـى كانت متماثلة تماما مع حمض الترتريك كيميائيا، إلا أنه لم يكن لها تأثير في الضوء المستقطب.

وبفحص بلورات ترترات الصوديوم مع الأمونيوم الراسمية(*) تحت العدسة المكبرة، وجد باستير أن لها شكلين توأمين: نصفها له بلورات تتجه أسطحها ناحية اليسار، والنصف الآخر تتجه أسطحه ناحية اليمين. وقد تمكن باستير من فصل النصفين بواسطة العدسة المكبرة وملقاط صغير. وكما اتضح ، فإن ترترات الصوديوم مع الألمنيوم واحدة من الأملاح الكفية القليلة التي تتبلر في بلورات هى صورة مرآة من بعضها ويمكن فصلها باليد.

حضَّر باستير محلولا من البلورات الموجهة إلى اليسار ووجد أنها تدير الضوء المستقطب في أحد الاتجاهات، بينما أدار محلول البلورات اليمينية التوجه الضوء إلى الاتجاه المعاكس. وعندما حضَّر محلولا من خليط متساو من البلورات اليمينية واليسارية وجد أنه لا يؤثر في الضوء المستقطب (وقد

(*) راسمي: صفة تقال للمزيج متشابه الأجزاء الذي لا يحول استقطاب الضوء، أي عديم الفاعلية البصرية.

أصبح المصطلح راسمي يدل على خليط من كميات متساوية من الاتجاهين المحتملين للمركب الكفي). أخبر باستير بيوت بذلك، وكان بيوت في ذلك الوقت متقدما في السن ولا يصدق باستير، فذهب باستير إلى معمله واستخدم كيماويات من عنده (معمل بيوت) وقام بالفصل أمامه وترك بيوت يحضر المحاليل من أجل اختبارها. وقد اتضح أن للمحاليل الخواص نفسها بالضبط كما قال باستير، فأصبح بيوت مؤيدا متحمسا لأبحاث باستير.

ومع أن كل هذا قد قنن وجود الظاهرة، لكنه لم يفسرها. وكان باستير قد توصل بحدسه إلى أن هذه الظاهرة قد تكون مرتبطة بالخواص الفراغية للمادة، لكن هذه الفرضية ظلت في انتظار اثنين من المطلعين من المعمل نفسه الذي خرج منه كوبر- ليدرساها: جاكوبوس هنريكوس فانت هوف، وجوزيف آشيل لي بيل.

جاكوبوس هنريكوس فانت هوف

جوزيف آشيل لي بيل

بدأ جاكوبوس فانت هوف المولود في هولندا دراسة الكيمياء على يد كيكولي، لكنه فضل معمل فورتز. وبعد عمله هناك التحق بوظيفة تدريس في كلية الطب البيطري وأصبح بعد عامين أستاذا بأمستردام. أما جوزيف لي بيل الذي ولد في فرنسا فقد تلقى تعليمه في باريس والتحق أخيرا بالعمل مع فورتز. وكان على علم بفانت هوف في ذلك الوقت، لكنهما طورا فكرة أن المقدرة على تدوير الضوء في المركبات (النشاط الضوئي) إنما مرجعها الترتيب الفراغي للمركبات في ثلاثة أبعاد، وذلك بشكل مستقل. وقد أوردا في مقالين منفصلين قائمة بالمركبات الموجودة والمعروفة بالنشاط الضوئي، وقد بينا أن كل هذه المركبات بها أربع مجموعات مختلفة حول ذرة كربون مركزية واحدة. وقد أدرك العديد من الكيميائيين المهتمين بالنشاط الضوئي أهمية أفكار فانت هوف في الحال. لكن لم يشترك الجميع في تقبل هذه الأفكار، وبالذات كولب، الذى كان صديقا ومعلما ناصحا لفرنكلاند في أثناء تطويره لفكرة التكافؤ، فقد كتب نقدا ساخرا يشبه الشعر:

يبدو أن دكتورا اسمه فانت هوف، من كلية الطب البيطري في أوتريتيش، ليس لديه أى فكرة

عن البحث الكيميائي. فقد اعتبر أن امتطاء صهوة بيجاس (الحصان الطائر في الأساطير الإغريقية ـ المترجم) أمر سهل (من الواضح أن الاستعارة هنا من كلية الطب البيطري)، فهو يقول في مقاله «الكيمياء الفراغية» كيف تبدو له الذرات مرتبة في الفراغ ...[13].

ويستنتج كولب:

من المستحيل نقد هذا المقال بأي شكل، لأن لعبة الخيال قد تخلت عن الأرضية الصلبة ... و الأمر غير مفهوم تماما للكيميائي الواقعي المتزن[14].

وكان كولب على خطأ.

وقد أصبح مفهوم الجزيئات العضوية ذات الأبعاد الثلاثة هو الكريمة فوق كعكة مفاهيم الأنواع والسلاسل المتجانسة والتكافؤ الرباعي وسلاسل الكربون المتصلة ببعضها. قفزت الكيمياء العضوية إلى الأمام في الفهم وفي التحكم في التخليق. وسرعان ما تفوقت على الكيمياء غير العضوية التي تسيدت المجال طوال الألفي سنة الماضيين. والنماذج التي لدى الكيميائيين العضويين الآن نماذج محسوسة ومدركة، فهم يستطيعون تفسير الخواص الكيميائية بناء على البنية ثلاثية الأبعاد، مثلها مثل التركيب العنصرى. وهم يقدرون على تصميم مسارات للتخليق (تحضير المركبات) باستخدام الطباشير والسبورة مثل الجنرالات عندما يخططون للمعركة.

كان العالم يتحول إلى ثلاثة أبعاد هو الآخر. فقد تمكنت الطائرات من الارتفاع فوق سطح الأرض مبكرا في مطلع القرن العشرين، وكانت الغواصات تغوص بطاقمها تحت الماء بشكل روتيني. وأوصل الأوربيون أفكارهم طوليا إلى بلد بعيد آخر اسمه الولايات المتحدة، والذى كان يبحث بحشود من الكيميائيين ليدرسوا في معامل أوروبا. وعندما عاد هؤلاء الكيميائيون من أوروبا قاموا بعمل رائع في الكيمياء العضوية.

الولايات المتحدة

ولكون الكيمياء العضوية شيئا جديدا فقد أصبحت موضع اهتمام الجيل الجديد من الكيميائيين، حيث كانت المواد العضوية متاحة بشكل سهل من مصادر الفحم والبترول في الولايات المتحدة. وفي بالتيمور، ترك جونز هوبكينز رجل البنوك الغني في السبعينيات من القرن التاسع عشر سبعة ملايين دولار لبناء مستشفى وجامعة، وهى الجامعة التى بدأت في تخريج كيميائيين.

وتقع الجامعة في الجزء القديم من المدينة الذى أشار إليه إيميت رايد في تاريخ حياته الذاتي «المائة عام الأولى من حياتي» والذى نشر عندما بلغ مائة عام:

عندما وصلت في ذلك الوقت إلى بالتيمور العام 1894، ولعشر سنوات تلت ذلك، لم يكن في بالتيمور شبكة مجارٍ. وكانت المياه المنصرفة من حوض الاستحمام وحوض الوجه وحوض المطبخ تذهب في أنابيب صرف لتصب في مجرى مواز لرصيف المشاة ينتهي ببالوعة. وكنت في أثناء سيرك في الشارع تعرف إذا ما كان أحدهم يمارس الاستحمام(15).

غير أن الجامعة كانت جيدة الإعداد بالنسبة لذلك الوقت، وكان قسم الكيمياء محظوظا أن رأسه أيرا رامسين، (والذي كان ترأس لجنة لتطوير شبكة المجاري). تلقى رامسين تدريبه في معمل فوهلر بالمانيا، ولابد أن الاثنين عملا بشكل طيب معا لأنهما يتمتعان بالحس الساخر نفسه، كما يمكن التقاط ذلك من التقرير الآتى عن خبرة رامسين عندما أصبح مهتما بالكيمياء لأول مرة:

بينما كنت أقرأ كتابا في الكيمياء وجدت العبارة «يؤثر حمض النيتريك في النحاس». وكنت قد سئمت مجرد قراءة هذا السخف في حشو الكتب وقررت أن أرى ماذا يعنى ذلك. كان النحاس مألوفا لى بشكل أو بآخر، لأن السنتات النحاسية كانت مستخدمة حينئذ. وقد شاهدت قارورة مكتوبا عليها «حمض نيتريك» على منضدة في مكتب أحد الأطباء حيث كنت «أمضي عقوبة»... وكل مارغبت فيه هو أن أعرف ما الذي تعنيه الكلمات «تؤثر في»...

كان كل شيء هادئا. وكنت مستعدا للتضحية حتى بأحد السنتات النحاسية القليلة التي في حوزتي. فوضعت واحدا منها فوق المنضدة، ثم فتحت القارورة المكتوب عليها «حمض نيتريك» وأفرغت قليلا من السائل فوق النحاس وأعددت نفسي للملاحظة.

لكن، ما هذا الشيء الرائع الذي لاحظته؟ لقد تغير السنت بالفعل، ولم يكن تغيرا صغيرا. كان هناك سائل أزرق مخضر يفور ويطلق الأبخرة فوق السنت وفوق المنضدة.تحول الهواء المجاور للعملية إلى اللون الأحمر الداكن، وتكونت سحابة كبيرة ملونة. كان ذلك كريها وخانقا، فكيف أوقف كل هذا؟ حاولت التخلص من هذا الأمر المربك بأخذه وإلقائه خارج النافذة التي كنت قد فتحتها في هذه الأثناء. فتعلمت حقيقة أخرى، وهي أن حمض النيتريك لا يؤثر فقط في النحاس بل يؤثر أيضا في الأصابع. وقد أدى الألم إلى تجربة أخرى لم تكن في الحساب، فعندما سحبت أصابعي داخل بنطلوني تم اكتشاف حقيقة أخرى. فحمض النيتريك يؤثر كذلك في البنطلونات(16).

وبعد أن تجاوز رامسين ما حدث في تجاربه مع حمض النيتريك، أخذ يشيد قسما نشطاً في جامعة جونز هوبكنز حتى أن المجلة الأمريكية للعلوم، كانت تشكو من أنها لو قامت بنشر كل أبحاثه لأصبحت مجلة

للكيمياء فقط. وهكذا أسس رامسين المجلة الأمريكية الكيميائية.

وقد أصبح قسمه منافسا ناجحا للمعاهد الألمانية، وأبقى على الدارسين في أمريكا الشمالية وقام بتدريب الكثيرين من الجيل التالي من كيميائيي الولايات المتحدة. وقد أدرك رامسين الحاجة إلى المراجع في الولايات المتحدة، لذلك قام بتأليفها. وقد طبعت ثماني طبعات من كتابه «مقدمة في دراسة الكيمياء»، وترجم إلى ثماني لغات أجنبية منها الألمانية.

وفي معمل ميتشجن في جامعة آن آربور قام موسيس جومبرج ـ الذي جاء من روسيا مع والده الفقيرـ بفصل مركب به كربون ثلاثي التكافؤ، أي واحدة من تكافؤاته خالية. كان المركب من أوائل الأمثلة على نوع سيُسمى فيما بعد الشقوق الحرة وكان فائق النشاط، غير أن عمره كان طويلا بما يكفي لاكتشافه. وكان يشار إلى هذا البحث في ألمانيا بقولهم «هذا العمل الرائع لجومبرج»

(der wundervollen arbeit Gomberg,)

(Gomberg's Wonderful Work)

وقد أُسست على هذه النجاحات مكانة خاصة لكيميائيي الولايات المتحدة والتي سمحت لهم كذلك بإرساء تقاليد خاصة بهم. وكان تدريب النساء على الكيمياء في الجامعات هو أحد هذه التقاليد. كانت بداية هذا الأمر مهزوزة، فلم يسمح لكاري توماس بالمشاركة في الدراسات العليا بجامعة جونز هوبكنز، مع أنها واحدة من مشيدي الكليات النسائية «براين مور» على غرار جونز هوبكنز. غير أنه سرعان ما أخذت الولايات المتحدة في إعداد كيميائيين من كل جنس ومن كل مصدر كما سنرى لاحقا.

ومع أن الكيميائي العضوي الوحيد الذي رأى الذرة «وفي الحلم فقط» كان كيكولي، إلا أنه في أواخر القرن التاسع عشر، وجد الكيميائيون العضويون أن في مقدورهم تفسير نواتجهم وعملياتهم والتحكم فيها بافتراضات حول سلوك الذرات وترتيبها في الفراغ في ثلاثة أبعاد. وقد نضجت الكيمياء العضوية كتخصص خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر وأصبح للكيميائيين العضويين فنهم المحدد. وهم لم يكتفوا برؤية الذرات «تتواثب أمام أعينهم» فقط بل هم يقومون بإخراج الرقصة بكاملها

بعد التطور الذي شهدته الكيمياء العضوية التخليقية. وقد أخرجوا لنا ما هو أكثر من الكيمياء العضوية التخليقية. فقد كانت الملاحظات حو ل وجود تكافؤ مفصل للعناصر أو مقدرتها على الاتحاد تشير إلى الطريق إلى الخطوة التالية وهي التقسيم أو التنظيم الكبير لكل الكيمياء ترتيب العناصر في مجموعات أو عائلات لها خواص متماثلة: جدول دوري. وقد جاء الجهد في هذا الاتجاه من جبهة أخرى قادمة من روسيا.

13

حوالى ١٨٤٨ ـ ١٩١٤
العناصر غير العضوية والأيونات: عناصر أرضية وغازات جديدة

- العناصر الأرضية النادرة
- قياسات الطيف
- بنية الذرة
- الأيونات

وجنبا إلى جنب مع التقدم الرائع في كيمياء الكربون العضوية، جاء التقدم الرائع في فهم العناصر الستين الأخرى غير الكربون في الجدول الدوري ـ بمجرد أن خرج هذا الجدول إلى الوجود. وهذا الجدول المهم من كل النواحي هو حجر الزاوية في الكيمياء المنهجية كما نفهمها اليوم، وقد بدأت قصة الكيمياء غير العضوية في القرن التاسع عشر ببناء الجدول الدوري.

الجدول الدوري

كان واضحا ـ لفترة من الوقت ـ أن هناك مجموعات من العناصر لها تفاعلات متماثلة. فكان السلينيوم يؤخذ على أنه تيليريوم، وكان البروم يستخرج سويا مع اليود والكلور من البحر. وقد اكتشف القدماء الذهب والنحاس والفضة في

الطبيعة في الحالة الفلزية. كذلك فصل ديفي البوتاسيوم والصوديوم بالطريقة نفسها من أملاح متشابهة، وراقب كيف تشتعل هذه الفلزات إذا تعرضت للهواء الرطب. لم تكن هذه التشابهات القليلة كافية مع ذلك لتبين النمط حتى بدأ الكيميائيون العضويون في تصنيف العناصر تبعا لمقدرتها على الاتحاد أو تكافئها. وعندما فعلوا ذلك اتضح وجود علاقات أكثر فيما بينها. فالأكسجين ـ مثلا ـ كان له تكافؤ يماثل الكبريت وكذلك الحال بالنسبة للكربون والسيليكون.

أغرت هذه التلميحات العديد من الكيميائيين الذين عمدوا إلى وضع مخططات تصنيف على أساس الوزن الذري لاستكشاف المنطق الأساسي وراءها. ولكن للأسف كانت الأوزان الذرية تختلف من معمل لآخر قدر اختلافها من عنصر لآخر، وبذلك كانت الأنساق محجوبة. ومع ذلك، فإن الكيميائيين كانوا يكتبون العناصر على شكل جداول وقوائم على أسطح المخابير والحلزونات، واعتقد واحد منهم أنه يستطيع حتى أن يعرف العلاقة بين بعد الكواكب عن الشمس والأوزان الذرية. وقد قام جون ألكسندر رينا نيولاندز بعمل قائمة على أساس الأوزان الذرية لكانيزارو فوجد أن الخواص تتكرر فيما يبدو بعد كل ثمانية عناصر، مذكرة بثمانيات الموسيقى (أو كتاف). صنع نيولاندز جدولا رتب فيه العناصر ذات الصفات المتشابهة تاركا أماكن خالية للعناصر التى لم لم تكتشف بعد. لم تلق تفسيراته القبول من المجلات العامة، ولما قدم هذا الجدول في أحد الاجتماعات حذف منه بعض الأماكن الخالية ـ ربما على أمل أن يبدو أقل راديكالية ـ فبدت العلاقات أضعف. وقد سأله أحد النقاد إذ ما كان قد اكتشف نسقا معينا عندما رتب العناصر ترتيبا أبجديا.

وهناك كيميائي آخر من ألمانيا وضع جدولا به أماكن خالية للعناصر الغائبة والتزم بذلك، اسمه لوثر ماير. لكن ماير نشر جدوله في العام 1870، بينما نشر ديمتري مندلييف جدولا مماثلا في العام 1869، وأصبح له معظم الفضل في اكتشاف الجدول الدوري.

ديمتري إيفانوفيتش مندلييف

كان ديمترى إيفانوفيتش من مواليد سيبريا والأخ الأصغر في أسرة لها

على الأقل 14 طفلا. وجاهد والده ونجح كمعلم مدرسي لإطعام الأسرة، لكنه عندما فقد بصره لم يكن معاشه كافيا. غير أن والدة مندلييف، والتي علمت نفسها بنفسها من تكرار الدروس التي كان أخوها يدرسها عند عودته من المدرسة، تمكنت من إعادة افتتاح مصنع متهاو للزجاج كان من أملاك أسرتها يوما ما. وجاهدت ونجحت في دعم الأسرة، بل وقامت بتشييد كنيسة ومدرسة لعمال المصنع الذي احترق العام 1848. كانت في ذلك الوقت في أواخر الخمسينيات من العمر، وقد توفي زوجها. كان مندلييف مراهقا ولاحظت أمه فيه عبقرية فسافرت معه إلى موسكو، في رحلة طولها آلاف الأميال، ليتلقى تعليما أفضل. لكن رفض طلب التحاقه بجامعة موسكو لأنه كان من سيبريا، لذلك توجها إلى سانت بطرسبرج حيث التحق بمعهد التربية ليصبح معلما. توفيت والدته بعد ذلك مباشرة، وقد كتب مندلييف فيما بعد: «كانت تعلمنا بالقدوة وتوجهنا بالمحبة، وقد أنفقت آخر ما تملك من ثروة وصحة... لكي أكرس [نفسي] للعلم»[1].

وصدق حدسها: كان مندلييف يستحق هذا الجهد. واصل مندلييف في جامعة سانت بطرسبرج وكتب رسالة علمية حصل بسببها على منحة دراسية للسفر، وفي أثناء وجوده في أوروبا في فترة المنحة الدراسية، حضر مندلييف مثل لوثر مايسر، مؤتمر كارلسرو، أول مؤتمر دولي في الكيمياء والذي عقد لحل المعضلات المتعلقة لتعريف الذرة والوزن الذري وتسمية المركبات ولم يكن المؤتمر موفقا تماما، لكن عند انصراف مندلييف منه أعطوه كراسا كتبه كانيزارو يفسر فيه فرضية أفوجادرو. قرأه مندلييف ووجده معقولا.

كان مندلييف على دراية جيدة بخواص العناصر، وعندما عاد إلى وطنه ووجد نفسه وجها لوجه أمام احتمال أن يقوم بتدريس الكيمياء، أخذ يبحث عن أساس منطقي للكيمياء غير العضوية. أخذ يكتب خواص العناصر والأوزان الذرية التي حصل عليها من كانيزارو على بطاقات صغيرة. حاول ترتيب هذه البطاقات بشتى الطرق، وكأنه يلعب نوعا من «السوليتير». وقد أطلق أصدقاؤه عليها اسم الصبر. قام مندلييف بتعليق هذه البطاقات على جدار المكتبة وأخذ ينظر إليها من بعد. لقد بدأ يرى نسقا فيها.

لم يكن على يقين أين يضع الهيدروجين، الأمر الذى مازال موضع نقاش حتى الآن، مكانه في الصور المختلفة للجدول الدوري أعلى اليمين أو أعلى

اليسار أو في المنتصف. وقد حل مندلييف هذه المشكلة باستبعاده. وقد كان الاستبعاد وراء قمة انتصارات مندلييف: فقد رتب العناصر تبعا لأوزانها الذرية محتفظا بمجموعات العناصر متشابهة الخواص معا. وعندما وجد أن هذا الترتيب يحيد بعض الشيء أحيانا ترك مساحات خالية للعناصر التى شك في غيابها. ثم ذهب إلى أبعد من ذلك، فاستخدم الكلمة إيكا (ومعناها واحد بالسنسكريتية) وتوقع أن تكتشف العناصر إيكابورون وإيكا ألمونيوم وإيكا سيليكون لتستقر في المسافات الخالية المتروكة لها، وقد استنتج خواصها والأوزان الذرية المتوقعة لها. وقد وجد بعض الأمور غير الطبيعية في هذا الترتيب (القليل من الأوزان الذرية كانت تقل بدلا من أن تزيد من عنصر إلى العنصر الذى يليه) لكن مندلييف رفض ذلك قائلا إن السبب هو الخطأ في تعيين الأوزان الذرية (الأمر الشائع في ذلك الوقت). وقد اتضح أنه كان على خطأ في هذه النقطة كما سنرى فيما بعد، لكن بالنسبة لباقي الأمور فقد كان مندلييف هو الذي رسم الطريق. وقد لخص كل ذلك في بحثه الذي نشره في العام 1869.

لم يلق البحث سوى القليل من الاهتمام لأنه كان طويلا ومرهقا في قراءته. ثم لاحظ أحدهم أن الجاليوم المكتشف حديثا ما هو إلا إيكا ألمونيوم في الحقيقة. ثم ثبت أن السكانديوم هو الإيكابورون. وقد قرر أحد الألمان أن يبحث عن عنصر الإيكا سيليكون الذى تنبأ به مندلييف مؤسسا بحثه على الخواص التى تنبأ بها مندلييف كذلك، وكان اسمه كليمنس ألكسندر وينكلر، وجد ما كان يبحث عنه وأطلق عليه اسم جيرمانيوم. وقد أصبح مندلييف شخصا مشهورا وضيفا ثابتا في كل التجمعات العلمية على الرغم من غرابته ـ بجانب كونه من سيبريا ـ فقد كان يقص شعره مرة واحدة في العام مع قدوم الربيع ، وقد رفض الخروج على هذه العادة حتى عندما قدموه للقيصر. وعلى رغم أنه كان مقبولا في أوروبا فإنه لم يكن كذلك في روسيا. كان ليبراليا يسمح للنساء بحضور محاضراته(مع أنه كان يعتبرهن غير قادرات بيولوجيا على الإنجازات الذهنية مثل الرجال) وقد طلق وتزوج للمرة الثانية. وكان صريحا في آرائه السياسية، مع أنه كان على دراية شخصية تامة ـ من أيام شبابه في سيبريا ـ بالإجراءات التعسفية لحكومة القيصر. لم تعجب هذه الأمور القيصر، لذا لم ينتخب مندلييف في أكاديمية

العلوم الروسية. لكنه أمضى حياته في سلام مديرا لمكتب الموازين والمقاييس، يكتب في الكيمياء والفن والتعليم والروحانيات.

وهكذا، بعد فورة الاكتشافات في بداية القرن التاسع عشر، تم أخيرا منهجة مجموعة العناصر، وبدأ الكيميائيون غير العضويين يجِدُّون في تخصصهم. وقد تمكن فرديناند ـ فريدريك ـ هنري مواسان أخيرا من فصل الفلور، وهو العنصر الذي تهرب كثيرا من الفصل لنشاطه وسُمِّيته (فالفلور في مركب حمض الهيدروفلوريك يذيب الزجاج بما في ذلك أدوات المعمل الزجاجية). وقد استخدم في ذلك التحليل الكهربي في أنبوب مصنوع من عنصر آخر كان قد عُزل في بداية ذلك القرن وهو البلاتين. وقد أدى التحسين في قائمة أدوات الكيميائيين (موازين أفضل، والعدسات الزجاجية والأفران وأدوات أخرى) إلى تمييز مجموعة متشابهة بشكل مذهل من العناصر كانت مجتمعة مع بعضها في خاماتها، مخبئة بعضها البعض بتطابق خواصها تقريبا: العناصر الأرضية النادرة.

العناصر الأرضية النادرة

تحتوي المجموعة المسماة بالعناصر الأرضية النادرة (وهى معروفة الآن باللانثانيديات) على شريط من 14 عنصرا في قاع الجدول الدوري الحديث. وتضم العناصر الأرضية النادرة العناصر 58ـ71.

واللانثانام والإيتريوم والسكانديوم ما هي إلا قليل من هذه العناصر المارقة. ومع أن الفلزات النقية في أغلب الحالات لم تفصل إلا مع حلول القرن العشرين. غير أن كيميائيي القرن التاسع عشر كانوا قادرين على التمييز بين أكاسيدها المختلفة أو أتربتها. وكلما تم التعرف على أحدها تسببت لمندلييف في مصاعب لتصنيفها. وهذه العناصر ليست نادرة كما كان يفترض في البداية، لكنها تطلبت كيميائيين نادرين، بصبر نادر، لخوض عملية فصلها. وأحد هؤلاء الكيميائيين كان كارل جوستاف موساندر والذي كان معروفا لفوهلر وبرزيليوس «بالأب موسيس».

كارل جوستاف موساندر

كان موساندر محسوبا على برزيليوس وقد تقاربا معا، فزوجته كانت

تعلم برزيليوس اللغة الهولندية. وكان هو يعلم موساندر الكيمياء. وقد بيَّن موساندر العام 1839 أن السيريا، أحد الأكاسيد الأرضية التي فصلها بريزيليوس، كانت في الحقيقة خليطا من نوعين من الأكاسيد الأرضية. فأطلق على المكون الأصفر اسم لانثانا، من الإغريقية بمعنى «الذى يهرب من الملاحظة»، ثم بيَّن أن هذا المكون أيضا خليط مع أكسيد أرض آخر أطلق عليه ديديميا من الإغريقية بمعنى «التوأم». وقد تمكن مع ذلك كيميائي آخر أن يفصل مكونين آخرين من الديديميا: براسيوديميا (من الكلمة الإغريقية براسيوس، أي الأخضر)، ونيوديميا (والتي تعني بالإغريقية التوأم الجديد) وقد فصل موساندر كذلك الأكسيد إيتريا وهو أكسيد أرضي آخر كان يُعتقد أنه أكسيد نقي إلى ثلاثة مكونات: إيتريا، وإربيا، وتيربيا، وقد اشتقت أسماؤهم جميعا من اسم المدينة السويدية إيتربي. كما اكتشف باحثون آخرون أكاسيد أرضية أخرى، بما في ذلك ليوتيتيا (على اسم باريس القديم)، وهولميا (على الاسم اللاتيني لاستوكهولم)، وثيوليا (من كلمة ثيول وهو الاسم القديم لإسكندنافيا)، وديسبروسيا من الكلمة الإغريقية ديسبروسيتوس والتي تعني «الذي يصعب الوصول إليه». وعندما فصل الكيميائي جوهان جادولين الإيتريا كان يعتقد أنها نقية، لكن اثنين من الكيميائيين الآخرين تمكنا من فصل مكون آخر من هذا العنصر الأرضي وسمياه جادولينيا.

والجادولينيوم، تبعا لبعض الروايات، هو أول عنصر يسمى باسم أحد الأشخاص، غير أنه في الواقع أخذ اسمه من اسم المعدن المحتوي على الجادولينيا، والذي كان اسمه مأخوذا من اسم جوهان جادولين. وبالدلالة نفسها، كان العنصر سماريوم مأخوذا من اسم المعدن سمارسكايت والذى أخذ اسمه بدوره من اسم أحد موظفي المناجم الروس الكولونيل سمارسكي.

ومن الصعب التأكيد بهذا الشكل على أن الاسم جادولينيوم قد أطلق ليخلد الكيميائي جادولين، أكثر من أن يكون الاسم سماريوم قدأطلق ليخلد شخصية عسكرية. أما الشيء الفريد في عنصر السماريوم مع ذلك، هو أن اكتشافه تم باستخدام تقنية جديدة في التحليل: قياس الطيف.

قياسات الطيف

قياسات الطيف هي الدراسة المنهجية لتداخل الضوء مع المادة. وعندما تملَّك كيميائيو القرن التاسع عشر هذه التقنية أصبحت أداة تحليل قوية. ولم يكن جديدا ملاحظة تداخل الضوء مع المادة، فقد فصل نيوتن الضوء الأبيض إلى مكوناته من الألوان المختلفة بواسطة منشور زجاجي ثم أعاد تجميعها إلى ضوء أبيض بإمرارها خلال منشور ثانٍ. كما أن الكتابات الهندية القديمة أوردت أن لون اللهب قد استخدم في التحليل الكيميائي (مع أن العلماء الهنود كانوا يبحثون عن السموم وليس عن عناصر جديدة). وقد استخدم الكيميائيون فيما بعد ألوان اللهب كوسيلة وحيدة للتمييز بين أملاح الصوديوم والبوتاسيوم. أما الظاهرة التى استُغلت خلال القرن التاسع عشر، فهي أن للعناصر المعرضة للهب طيفا يبدي أنساقا من الخطوط، وهي أنساق يمكن قياسها وفهرستها. وهذا ما اشتغل به الكيميائي الألماني روبرت بنزن (وقد التقينا به من قبل في سياق أبحاثه في الكيمياء العضوية) والفيزيائي جوستاف روبرت كيرتشهوف.

روبرت بنزن وجوستاف روبرت كيرتشهوف

تلقى بنزن وعدا بمعمل جديد عندما جاء إلى هايدلبرج للتدريس. كان غاز الفحم قد بدأ استخدامه للتو في إضاءة الشوارع، وبذا فقد حصل بنزن على الغاز في معمله الجديد. كان لهب الغاز في المصابيح الغازية العادية مصحوبا بالسناج (الهباب)، وغير مستقر. وقد كان بنزن في حاجة إلى لهب مستقر وبلا لون لاستخدامه في تحليل ألوان لهب الأملاح في المياه المعدنية، لذا فقد اخترع مصباح المعمل المسمى باسمه، مصباح بنزن. وحتى يتمكن بنزن من فصل ضوء العنصرين عن ضوء اللهب، كان عليه أن يمرر الضوء خلال مرشحات زجاجية ومرشحات سائلة قبل دراسته، وكان أمرا مرهقا. اقترح جوستاف روبرت كيرتشهوف الفيزيائي وزميل بنزن في هايدلبرج، أن يمرر الضوء خلال منشور لفصل مكونات الضوء على شكل طيف. وقد قام الباحثان معا بجمع اللهب والمنشور والعدسات وأنابيب المشاهدة على حوامل، صانعين بذلك أول جهاز للقياسات الطيفية. وفي غضون وقت قصير جدا قاما باستخدام جهازهما لتعيين العنصرين

الجديدين (السيزيوم والروبيديوم)، وقد بيَّنا أنه في كل حالة كانت هذه العناصر تعطي أطيافا خطية متفردة.

وفي أعقاب هذه البحوث جاء اكتشاف عنصر الإنديوم بواسطة أستاذ ألماني هو فرديناند رايخ (وقد اشتق اسم العنصر إنديوم من اللون إنديجو). ولوجود عمى ألوان عند رايخ، كان عليه أن يترك تحليل طيف هذا العنصر النيلي الزاهي لمساعده هيرونيموس تيودور ريختر، الذي كان يتمتع ببصر عادي. وفي فرنسا أكمل بواسبودران اختبارات الطيف الدقيقة على 35 عنصرا بما فيها العنصران الجديدان من العناصر الأرضية النادرة، (سماريوم ويوروبيوم)، وكتب نتائجه في كتاب مرجعي مهم.

أصبحت تقنية التحليل الطيفي واسعة الانتشار بسرعة، وقد تعلمها بالسرعة نفسها الكيميائي والفيزيائي وعالم الروحانيات والأب لعشرة أطفال ويليام جروكس. وكان إلى حد ما فصاميا في تنقله بين ما هو عملي وما هو أثيري سماوي. وكانت الحاجة لإطعام عشرة أطفال قد جعلته يخطط لإجراء التحاليل الطيفية بأجر. و كان هناك محرك آخر وراء اهتمامه بالأطياف وهو اهتمامه بالروحانيات (وبالوسيطة فلورنس كوك). وقد دأب على نشر تقارير منتظمة في الكيناتيكا السمعية والبصرية المشاهدة في أثناء الجلسات الروحية، إلا أن اهتمامه بالأضواء المتوهجة- سواء أكان مصدرها الكيماويات أم أشعة الكاثود أو الأطياف - هي التي أدت إلى نتائج إيجابية. وعندما أرسل إليه غاز غير معروف لتحليله أيقن جروكس أن خطوط طيفه تنطبق على خطوط طيف سبق ملاحظتها في طيف الشمس. وهذا العنصر هو الهيليوم (واسمه مشتق من الكلمة الإغريقية هيليوس، بمعنى الشمس) وهو بذلك يتميز بأنه العنصر الوحيد - حتى الآن - الذي اكتشف في الفضاء قبل اكتشافه على الأرض. والهيليوم عضو في مجموعة تسمى أحيانا بالغازات النادرة - والأكثر شيوعا الآن اسم الغازات النبيلة - وهي تقع في أقصى يمين الجدول الدوري. وقد جعلت هذه الغازات مكتشفيها في حالة مطاردة قبل أن تبوح بطبيعتها. ولم يكن الأمر بسبب ندرتها، بل لأنها بالتحديد نبيلة. والمواد النبيلة ضعيفة الفعالية، يعني أنه من الصعب فصل وتمييز هذه الغازات بالوسائل الكيميائية. لكن وكما هي الحال دائما، عندما يكون هناك تحدٍ ما فهناك من يقبلون بهذا التحدي. والأبطال هنا

في حالة الغازات النادرة هما: جون ويليام ستروت، البارون الثالث من رايلي (لورد رايلي)، وويليام رامزي.

لورد رايلي ووليام رامزي

اكتسب لورد رايلي وضعه النبيل بالوراثة، لكنه اكتسب سمعته العلمية بالجهد الشخصي الصرف. كان يقوم بتجاربه في معمل ملحق بالبيت الريفي للأسرة مستخدما أدوات اشتراها بنفسه. وقد انتج طوال حياته حوالى 430 مقالا علميا (بحثا) وكتابا من جزأين «نظرية الصوت». وعندما بدأ يهتم بكثافة الغازات كان قد أصبح تجريبيا محنكا.

ولضميره الحي، كان يقوم باختبار مراجعة القيم التي كان يقيسها باستخدام الغازات المحضرة بطرق مختلفة. وقد وجد تطابقا جيدا بالنسبة للهيدروجين والأكسجين، لكنه عندما قارن كثافة النيتروجين المحضر من الهواء الجوي بالنيتروجين المحضر بالطرق الكيميائية، وجد اختلافا. كان نيتروجين الهواء الجوي أثقل من النيتروجين المحضر كيميائيا بقيمة صغيرة لكنها ثابتة دائما. ولحيرته واقتناعه بأن الظاهرة حقيقية، نشر نتائجه وطلب تفسيرها أو التعليق عليها. جاء تعليق الكيميائي ويليام رامزي متضمنا أن على رايلي أن يقوم بتنقية النيتروجين كيميائيا. وفي تعاون وثيق واستشارات بين رامزي ورايلي، سلك كل منهما طريقا منفصلا. كتب رامزي:

كان [رايلي] يعتقد أن سبب التعارض وجود غاز خفيف في النيتروجين الذي لم يحضر من الهواء الجوي، وكنت أعتقد أن السبب يكمن في غاز ثقيل موجود في نيتروجين الهواء الجوي، وقد أمضى رايلي الصيف يبحث عن الغاز الخفيف. وأمضيت أنا شهر يوليو أتصيد الغاز الثقيل... وقد نجحت[2].

وقد اتضح أن الثقل الغامض في نيتروجين الهواء الجوي هو الأرجون، وهو الغاز النادر الثالث في الجدول الدوري. ومن المعروف الآن أنه يشكل 1٪ من الهواء (والباقي نيتروجين وأكسجين وكميات ضئيلة من ثاني أكسيد الكربون والماء و غازات أخرى).

كتب رايلي إلى الليدي فرانسيس بالفور:

لقد شغل الغاز الجديد كل حياتي. لم يكن عندي منه إلا حوالى ربع كستبان. لكنني أملك الآن كمية معقولة كلفتني ألف مرة ضعف وزنها ذهبا تقريبا. ولم نطلق عليه اسما بعد. وقد اقترح أحد الناصحين اسم « آيرون» ، لكننى عندما اختبرت تأثير ذلك بنفسى، كانت الإجابة عادة « ومتى

نتوقع موسى؟»[3].

قام الباحثان بكتابة نتائجهما في مقال مشترك حيث أطلقا على الغاز اسم أرجون، من الإغريقية بمعنى الشخص الكسول، في إشارة إلى انعدام فاعليته.

كان العلماء الآخرون متشائمين في البداية، فلم تكن هذه هي المرة الأولى التي يتضح فيها أن اكتشاف عنصر جديد خطأ، ولن تكون الأخيرة. وقد أُرسلت عينة إلى بيرثوليت ليختبرها بالتفريغ الكهربي، لكن تقريره جاء ينفي أي عنصر جديد. وقد ذكر في تقريره كذلك أن مساعده قد جرح نفسه عندما كان يفك السلك الحديدي الذي كان يربط الأنبوب المطاطي الذي يغلق أنبوب العينة. وبعد سنوات من ذلك ثبت أن رايلي ورامزي قد استخدما سلكا نحاسيا لربط الأنبوب، وهكذا فإن العينة قد فتحت، وأغلب الظن أن ذلك حدث بواسطة رجال الجمارك، وأن ما اختبره بيرثوليت هو هواء.

ظل مندلييف غير مقتنع، ومفضلا لفكرة أن الأرجون هو نيتروجين ثلاثي الذريةN_3. ويمكن تفهم التردد الذي كان فيه مندلييف إذا أيقنا بحقيقة أنه لم يكن هناك مكان للغازات النبيلة في جدوله الدوري. وعندما اقترح رامزي وضع الأرجون بعد الكلور وقبل البوتاسيوم (وهو مكانه الحالي)، لوحظ أن للأرجون وزنا ذريا أكبر من الوزن الذري للبوتاسيوم، ولذا فإنه لم يكن ليجد لنفسه مكانا مناسبا في مخطط مندلييف. لكن المجادلات فترت بالتدريج كلما ملأ رامزي العمود (المجموعة) الجديد. فقد وجد رامزي مصدرا أرضيا للهيليوم (والذي تأكد بالدراسات الطيفية بواسطة جروكس) في معدن كليفايت بعد أقل من شهرين من إعلان اكتشاف الأرجون. وفي غضون أربع سنوات عزل رامزي، الذي كان يعمل معه موريس ترافرز، الكريبتون (من الكلمة الإغريقية ـ المختبىء)، والنيون (من الكلمة الإغريقية ـ الجديد)، والزينون (من الكلمة الإغريقية ـ الغريب)، وذلك من الهواء السائل. كذلك أعلنا اكتشاف ميتا أرجون، لكنهما سحبا هذا الإعلان بعد أن اتضح أنه خليط من الشوائب. لم يكمل رامزي اكتشاف المجموعة، وجاء هذا الشرف من نصيب أستاذ بروسي، هو فريدريك إيرنست دورن، الذي فصل الرادون، وهو من نواتج التحلل الإشعاعي للراديوم. وحتى تكتمل

المجموعة، فإن رامزي هو من عَيَّن الوزن الذري للرادون [4].

وربما كان رامزي سيكتشف الرادون لو لم يفعل دورن، حيث كان رامزي مهتما هو الآخر بظاهرة النشاط الإشعاعي الجديدة، كما كان العالم كله مهتما بها. ولم تكن العناصر المشعة إلا مجرد فلزات جديدة اكتُشفت في بعض الخامات، وعلى الرغم من تناغمها مع الفيزياء فإن دراسة ظاهرة النشاط الإشعاعي كانت جزءا من الكيمياء غير العضوية في البداية.

الكيمياء الإشعاعية: البدايات

كان الوضع كما صوره الكيميائى المئوي (عمرا) إيمت رايد في الفصل الماضي من هذا الكتاب متذكرا أيام دراسته الأولى، «كانت الأشياء أبسط كثيرا حينئذ، حيث لم تكن هناك أيونات ولا نظائر...»[5]. كان لابد لهذا الوضع أن يتغير وحالا. فأثناء بحثهم في طبيعة المادة، قام الكيميائيون باستخدام كل شيء تحت أيديهم لفحص كل شيء. وأخيرا قرروا تطبيق الكهرباء على «الفراغ» أو الغازات المخلخلة تحت ضغط منخفض جدا. وعندما فعلوا ذلك اكتشفوا أن ضوءا يتكون وأن هناك «شعاعا» يستطيع أن يلقي ظلا. وقد وجد الكيميائي وعالم الأطياف ويليام جروكس في السبعينيات من القرن التاسع عشر أن أشعة الكاثود هذه (سميت هكذا لأنها كانت تنبعث من القطب السالب أو الكاثود)، تستطيع إدارة طاحونة هواء دقيقة إذا وضعت في طريقها وأنها تنحني إذا تعرضت لمجال مغناطيسي. أجرى الفيزيائي الإنجليزي جوزيف جون طومسون (المعروف أكثر باسم ج.ج. طومسون) تجارب بينت أن هذه «الأشعة» تتكون من دقائق مشحونة شحنة سالبة تصل كتلتها فيما يبدو لحوالى جزء من ألف من كتلة ذرة الهيدروجين:(وقد بيَّن كذلك أن هذه الدقائق لم تكن كتلتها من الكبر بحيث تدفع العجلة،الأمر الذي جاء من فعل الحرارة في الحقيقة). وقد اتضح أن هذه الدقائق هي نفسها التي تتكون دون النظر إلى نوع الغاز في أنبوب أشعة الكاثود. وقد منحت هذه الدقائق الاسم الذي أعطي مسبقا لجسيمات الشحنة الكهربية الإلكترونات. وصور كل من كالفن وطومسون الذرة على أنها كتلة من الشحنة الموجبة تتخللها الإلكترونات المدفونة، وقد سمي هذا النموذج فورا «بودنج الزبيب» على اسم حلوى عيد الميلاد

الإنجليزية المكونة من البودنج الذي يتخلله الزبيب المدفون فيه.

وفي هذا الوقت، وفي إحدى الليالي من العام 1895، لا حظ ويلهلم كونراد رونتجن، الذي كان يجري تجارب باستخدام أنبوب أشعة المهبط، لاحظ أن ستارة مغطاة بسيانيد الباريوم والبلاتين كانت تتوهج في الطرف الآخر للحجرة. صدمته هذه الظاهرة قليلا لأن الغرفة كانت مظلمة وكان أنبوب أشعة المهبط مغطى بورق أسود. أزاح الستارة بعيدا عن أنبوب أشعة المهبط لكنها ظلت متوهجة، ووضع يده بين الستارة أنبوب أشعة المهبط، فرأى حدود عظامه، فاستنتج أن هناك أشعة مصدرها أنبوب أشعة الكاثود (أشعة اخترقت الكرتون والملابس والجلد). وقد أقنع نفسه بالتقاط صور على ألواح فوتوغرافية. كتب بحثا عن هذه الأشعة التي أطلق عليها أشعة «X» إكس، لعدم وجود اسم أفضل.

وبعد قليل، أخذ هنري بيكيريل يتساءل عما إذا كان هناك ارتباط بين أشعة إكس والمعادن المتوهجة، وقرر أن يكتشف: هل تبعث أملاح اليوارنيوم الفوسفورية بأشعة إكس (وهي الأملاح التي تتوهج باخضرار عند تعرضها لضوء الشمس. وأجرى تجربته بوضع أملاح اليورانيوم ملامسة لألواح فوتوغرافية ملفوفة في ورق أسود. لكن كانت باريس شتاء، والشمس لا تشرق، ولذا لم تتفسفر الأملاح. وضع التجربة جانبا في درج مظلم، وبعد بضعة أسابيع، ولكونه عالما دقيقا، فقد أظهر الألواح (عالجها كيميائيا) فلاحظ أشباحا لصور الأملاح. اعتقد بيكير يل أن أملاح اليورانيوم تبعث بأشق رونتجن المسماة أشعة «X»، لكنه سرعان ما اكتشف أن هذه الأشعة أقوى، وأنها تنبعث تلقائيا من مركبات اليورانيوم ومن اليورانيوم النقي نفسه دون تزويدها بالطاقة. أذهلت هذه الظاهرة الكيميائيين والفيزيائيين واستحوذت على انتباه أكثر طلبة الدكتوراه في السوربون تميزا: الواعدة البولندية واسمها ماري سكلادوفسكا والتي ستصبح فيما بعد ماري كوري.

ماري كوري

احتوت الإمبراطورية الروسية بولندا بحلول أواخر القرن التاسع عشر على الرغم من الاعتزاز الوطني العنيف ومقاومة طبقة النبلاء. وكانت حكومة القيصر ترد بالاعتقالات والشنق وبتحريم استخدام اللغة البولندية

في أي عمل رسمـي. لكـن المقاومـة استمرت تيارا سياسيا سريا متخذا من تعاليم أوجست كونت في الفلسفة الوضعية نبـراسـا، حيث كان يعتبـر أن العلوم الإمبرياليـة والنزعة الإنسانية وحب الخير ستجلب عصرا من السلام والازدهار الاقتصادي. وكان ذلك اعتقاد ماري كوري الراسخ.

تبددت ثروة أسرتها في ظل نظام القيصر، وعانى والداها في مهنتهما (كانا معلمين). تفوقت ماري في المدرسة التي تعلمت فيها باللغة الروسية، لكن بعد المرحلة الابتدائية، أصبحت ماري عضوا في الحركة الطلابية السرية المعادية للقيصر.

كانت باريس هي أرض التقاء المعارضة البولندية من الطليعة الفكرية وأهل الفن والثقافة. عملت ماري مربية في بولندا لتتمكن أختها من دراسة الطب في باريس. وعندما أكملت أخت ماري دراستها وتزوجت من طبيب، أصبحت ماري مستعدة للسفر إلى باريس للالتحاق بالسوربون. عبرت ماري ألمانيا بالقطار في عربة الدرجة الرابعة جالسة على كرسي صغير من كراسي المعسكرات. وبوصولها إلى باريس، تحملت ماري ضيق الفاقة (يقال إنها ذبلت من نقص الغذاء)، وذلك لتكسب ما تدفعه للحصول على درجة الماجستير في الفيزياء وهى على رأس المجموعة للحصول على درجة الماجستير في الرياضيات وترتيبها الثاني في المجموعة. وقد سمح لها جابرييل ليبمان ـ أستاذ الفيزياء في السوربون ـ بالعمل في معمله، غير أنها كانت فى حاجةلدعم مالي، ولذا فقد بدأت العمل في فحص الخواص المغناطيسية لأنواع الصلب المختلفة لمصلحة لوشاتيليه والمجتمع، تشجيعا للصناعة الوطنية. وفي أثناء محاولتها إيجاد مكان في معمل لإجراء التجارب،التقت بأستاذ في كلية الكيمياء والفيزياء، هو بيير كوري.

بيير كوري

كانت بداية بيير كوري مختلفة عن بداية ماري. فقد كان طفلا لأسرة موسرة من الطبقة الوسطى، غير أنه كان يبدو كأنه معاق ذهنيا في أثناء طفولته. ولهذا السبب قام والداه بتعليمه منزليا. لكنه بمجرد أن احتك بالرياضيات والعلوم، تفتح بسرعة. ولما بلغ سن 19، كان يجري أبحاثا علمية أصيلة. وقد اكتشف قانونا أوليا لتأثير الحرارة المغناطيسية، كما قام بدراسة

خاصية غريبة للبلورات، كان جابرييل ليبمان قد توقعها، خاصية البيزوالكهربية، وهي مقدرة بلورات معينة على توليد جهد كهربي عند تعرضها للضغط. وهكذا، كان بيير كوري قد استقل وله مستقبل واعد (مع أنه لم يلتحق بالبوليتكنيك، الأمر الذي كان يحد من هذا المستقبل الواعد)، وكان في سن 35 عندما وقع في حب العالمة البولندية ماري، وهي في سن 26.

ماري وبيير كوري

قررت ماري بعد شيء من التردد أن تبقى في باريس مع بيير (وكانت ماري قد خططت أن تعود إلى بولندا، ووافق بيير في إحدى اللحظات أن يرافقها إلى هناك). ولدت ابنتهما بعد 14 شهرا من الزواج، بعدها بدأت ماري التفكير في إنهاء بحث الدكتوراه. وقد اختارت موضوعا لرسالتها هو دراسة الظاهرة الجديدة التي لاحظها بيكريل: «انبعاث أشعة من المعادن».

حصلت ماري على تصريح باستعمال أحد المخازن غير المستخدم، وليس به عازل أو تدفئة ويقع بجوار كلية الفيزياء، ويمكن قراءة العبارة الآتية في مذكراتها «درجة الحرارة 25 , 6!».لكن ماري كانت تملك إصرارا عنيدا سوف نرى أنه يتحكم في كل حياتها وقد لاحظت أن الإشعاع المنبعث من اليورانيوم فيما يبدو لا يعتمد على درجة الحرارة، فاستمرت. قررت ماري أن تختبر جميع العناصر المعروفة لترى ما إذا كانت هناك عناصر أخرى مشعة. واكتشفت عنصرا مشعا آخر هو الثوريوم. وقد كان ذلك محل اهتمام آخرين كانوا يبحثون في الظاهرة الجديدة في الوقت نفسه. لكن الإلهام نزل على ماري عندما قررت فحص المعادن بحثا عن مصادر جديدة للإشعاع. فقد وجدت أن البيتشبلند، وهو أشهر خامات اليورانيوم كان مشعا بدرجة أعلى مما يمكن أن يسببه محتواه من اليورانيوم والثوريوم. لقد كان هناك شيء آخر قررت ماري أن تكتشفه.

عند هذه النقطة، قرر بيير، الذي كان مهتما بأبحاثها بوجه عام، أن يعلق أبحاثه الخاصة مؤقتا ليعمل مع زوجته في أبحاثها. قاما بعزل عينة كانا يظنان أنها غنية بالعنصر الجديد، وطلبا من أحد المتخصصين في التحليل الطيفي أن يختبرها، لكنه لم يجد خطوطا طيفية جديدة. لكن مع

قناعة ماري بوجود هذا العنصر أطلقت عليه اسم بولونيوم على اسم وطنها بولندا، ثم قررت هي وبيير فصل عينة أكبر. وكتبت ماري بشيء من الكتمان:

بدأت التبلر التجزيئي لكيلوجرامين من كلوريد الباريوم ـ الحامل للراديوم ـ كانا قد استخلصا من نصف طن متري من بقايا رخام أكسيد اليورانيوم»[7] .

كانت العملية كيمياء غير عضوية مباشرة (ذوبان المعادن في الأحماض ثم ترسيب الأقسام المختلفة بواسطة كواشف مثل الكبريتات والهيدروكسيد، ثم إعادة ذوبان الرواسب ثم تبلر النواتج وإعادة تبلرها) ولكن بكميات هائلة.

ظلا يعملان في مبنى خشبي مهمل عبر الطريق من معمل ماري (المخزن) مثقوب السقف سيئ التهوية وضعيف التدفئة لمدة أربع سنوات من 1898ـ1902. وكانت ماري تقوم بمعظم العمل اليدوي الشاق بما في ذلك حمل الدامجانات وأوعية التقطير الضخمة لأن بيير كان يعاني من آلام تشبه الروماتيزم، وكان عمله يتركز في بحث الخواص الكيميائية للمواد. وقد كتبت ماري عن هذه الفترة: « نحن ننام جيدا»[8].

كان نقص الموارد المالية يزعجهما. لذلك قبلت ماري عملا كمدرسة في مدرسة للبنات. وحاول بيير الحصول على وظائف أفضل كلما سنحت الفرصة، لكنه كان دائما يفقدها كلما صار قاب قوسين أو أدنى من الحصول عليها، فكان يندم على ضياع وقته في المحاولة. وأجهضت ماري من حملها، لأنها ـ كما كتبت ـ لم تبطىء من معدل أدائها، معتقدة أن جسمها يستطيع الصمود. احترقت أيديهما من الإشعاع واكتسبت لونا بنيا. وبدلا من مادة مشعة واحدة اكتشفا مادتين: فقد تأكد وجود البولونيوم، أما المادة الثانية فقد حصلا عليها عندما تمكنا من العمل على عينات نظيفة نسبيا، وكانت تتوهج بضوء أزرق. وقد كتبت ماري:

كان أحد الأشياء المبهجة أن نذهب إلى مكان عملنا ليلا، لنتطلع حولنا في جميع الاتجاهات لنرى خيالات الظل الواهنة للزجاجات والكبسولات المحتوية على منتجاتنا. كان منظرا رائعا بحق، جديدا في كل مرة نشاهده فيها. وكانت الأنابيب المتوهجة تشبه أضواء الزينة الخافتة [9].

شاهد المتخصصون في الطيف خطوط طيف العنصر الجديد أيضا، وقد أطلقت ماري وبيير اسم راديوم على العنصر الثانى. وأخيرا وفي سن 36 قدمت ماري رسالتها، وبعد ذلك جاءت الشهرة، لكن الحظ لم يأت

أبدا.

كان لماري وبيير وجهات النظر السياسية نفسها، وقد رفضا تسجيل براءة اختراع للمواد التي اكتشفاها مفضلين أن يجعلاها شيئا متاحا لكل من يرغب في استخدامها. وقد حصل بيير أخيرا على كرسي الفيزياء والكيمياء وأصبحت ماري هي الأخرى مساعدة مدفوعة الأجر. كان السماح لماري بالعمل مساعدة مدفوعة الأجر لبيير اعترافا بفضلها، فقد كانت النساء في ذلك الوقت في فرنسا محرومات من مناصب كثيرة عادة (وكان عليهن الانتظار40سنة أخرى للحصول على حق الانتخاب في فرنسا). وفي العام 1906، صدم بيير حصانٌ جامح يجر عربة في شوارع باريس المزدحمة، فمات في الحال. وللغرابة، تم تعيين ماري لتحل محله. وصعدت بحزم إلى منضدة القراءة، وأخذت تتكلم بصوت رتيب متكلف وواصلت المنهج من النقطة التي توقف عندها بيير.

واظبت ماري على إجراء البحوث كذلك. وسمحت لنفسها أن تقتنع بالتقدم لتصبح عضوا في أكاديمية العلوم (والتي لم تقبل أي امرأة عضو أبدا) لا كتساب اللقب الذي قد يساعدها في الحصول على تمويل. تبع ذلك حملة افتراء ضدها، تناولت حتى أصولها العرقية. وفي يوم الانتخاب، افتتح الرئيس الاجتماع متوجها إلى الجمع بقوله «ليدخل إلى هنا كل إنسان ما عدا النساء»[10]. ولم تتمكن ماري من الحصول على العضوية لفارق صوت واحد فقط.

أطلقت أبحاث ماري عنان الغضب. فقد شكك بعض العلماء المرموقين مثل لورد كلفن في إمكاناتها العلمية، ولمح إلى أن أفكارها كانت تستقيها من زوجها. وقد اتهمت ماري بوجود علاقة لها مع بول لانجفين، الصديق القديم للأسرة، وتلميذ بيير سابقا.

وعلى الرغم من أن العلاقة بينهما ذكرت على نطاق واسع كحقيقة قائمة، إلا أن اسم ماري لم يزج به في المقاضاة بين لانجفين وزوجته، ولم تصرف العلاقة المزعومة أو الإشاعة حولها ماري عن عملها.

وجاءت الحرب العالمية الأولى، وجاءت معها أشياء أخرى سببت قلقا للناس. وقد عملت ماري على وحدة الأشعة «X» متنقلة في أثناء الحرب. وبعد الحرب واصلت أبحاثها حول الخواص العلاجية للراديوم ، وقامت

برحلات دولية قاسية لجمع الأموال اللازمة لشراء الراديوم لعلاج السرطان. وأخيرا أتت عملية التعرض الطويل للإشعاع ثمارها. وقد كتب أحد المحيطين علما قبل وفاتها بثلاث سنوات في بداية الستينيات من العمر «لقد بدت ضعيفة شاحبة... يداها ملفوفتان في أربطة نتيجة لحروق الإشعاع، وكانت تنتفض بعصبية» (11). توفيت ماري كوري متأثرة بمرض اللوكيميا، والذي يحتمل أن يكون الإشعاع قد سببه لها. وقد تركت لنا انطباعا بأنها لو كانت قد عرفت مسبقا بمصيرها المحتوم لكانت قد سجلت ذلك في دفتر المعمل وواصلت العمل.

وعلى الجانب الآخر من المحيط، في كندا، كانت التداعيات النظرية للإشعاع موضع بحث كذلك.

بنية الذرة

ولد إرنست رذرفورد في مزرعة رائدة بنيوزيلندا، وكما هو مذكور عنه، فإنه رفض الحياة الوعرة وركز جهوده للحصول على منحة دراسية في كامبريدج. وفي كامبريدج، أعطى طومسون، صاحب نموذج كعكة البودنج بالزبيب للذرة، لرذرفورد عينة من اليورانيوم ليختبرها. وقد بيَّن رذرفورد أن العينة تبعث بنوعين على الأقل من الجسيمات: نوع اتصح أنه أنوية للهيليوم مشحونة شحنة موجبة، وقد أطلق عليها أشعة ألفا، والنوع الآخر إلكترونات سريعة أطلق عليها اسم أشعة بيتا.

كانت نجاحات رذرفورد كافية لتجلب له وظيفة في جامعة ماك جيل، في مونتريال بكندا بمرتب12جنيها في الأسبوع (ضعف المرتب الذي تقاضاه بيير كوري تقريبا). ولسعادته بفرصة بناء معمل خاص به كتب لأهله « إنهم يريدونني أن أكوّن مدرسة علمية تطفيء بريق اليانكي» (12). وفي جامعة ماك جيل، شعر رذرفورد بالحاجة إلى أحد الكيميائيين لمساعدته في التعرف على نواتج التحلل الإشعاعي. وقد وجد في فريدريك سودي، الكيميائى المنشود، كان إنجليزيا تخرج حديثا، وكان يبحث عن وظيفة أكاديمية. كتب سودي لجامعة تورنتو، لكنه لم يتلق ردا، فاشترى تذكرة على السفينة وذهب إلى هناك بنفسه ليجد أن الوظيفة قد شغلت. ولأنه كان في كندا بالفعل، فقد تقدم بطلب إلى جامعة ماك جيل ليشغل وظيفة هناك. قد عُين في

قسم الكيمياء. دعاه رذرفورد ليتعاون معه فبدأ يعمل في تعيين نواتج التحلل، ومعه طالب دراسات اسمه هاريت بروكس.

كان رذرفورد طموحا مثل أي أكاديمي لامع ونجمه صاعد إلى أعلى، وعندما خلا كرسي الفيزياء في مانشستر في إنجلترا، ترك كندا من أجل الوظيفة الأكثر حضورا في مركز دنيا العلوم. وفي معمله قام بتجربة وجهَّ فيها حزمة من الأشعة إلى شريحة رقيقة من فلز، وأخذ يسجل أي انحراف للأشعة يظهر على ستارة مغطاة بمادة فوسفورية. وعندما اكتشف مساعدوه وجود انحراف، يقال إنه أخذ يرقص «الهاكا» (الرقصة الوطنية للماوري في نيوزيلندا). وقد أثبت فيما بعد في تجارب مشتركة مع هانز جايجر (صاحب عداد جيجر المشهور)، أن جسيمات ألفا عالية الطاقة تمر عبر شريحة رقيقة كما لو كانت الشريحة بودنج الزبيب المصنوع من الذرات اللينة والإلكترونات. لكن أحيانا كانت جسيمات ألفا ترتد للخلف بشكل عجيب. وقد قال رذرفورد:

لقد كان أكثر شيء لا يصدق حدث لي في حياتي. كان ... كما لو أنك أطلقت صدفة طولها 15بوصة على قطعة نسيج فارتدت للخلف فأصابتك[13].

لقد ارتدت جسيمات ألفا للخلف لأن الذرة ليست بودنج الزبيب، هكذا فكر رذرفورد. والذرة هي فراغ في معظمها لها قلب متناهي الصغر كثيف بشكل لا يصدق، ومشحون شحنة موجبة. اقترح رذرفورد نموذجا جديدا للذرة (نموذج الكواكب) حيث تدور الإلكترونات سالبة الشحنة على مسافات شاسعة حول نواة دقيقة وكثيفة مشحونة شحنة موجبة.

وكما نفهم الأمور الآن، فإن هذا النموذج صحيح في نواح عدة. فالذرة فراغ في معظمها. فإذا كان «مدار» الإلكترون بحجم كراج، فإن حجم النواة مثل حجم النقطة التي تكتب فوق أي حرف، ولا شيء بينهما. ومع إمكان وجود العديد من الإلكترونات حول نواة واحدة، إلا أن الإلكترونات خفيفة وكتلة الذرة مركزة أساسا في النواة، والتي تبلغ كثافتها حدود ألف تريليون جرام في السنتيمتر المكعب (ويمكن إدراك ذلك لو تخيلت أنك جمعت كل سيارات العالم في «كستبان»). وليست هذه الصورة حدسية، فعلى المستوى الذري العالم مختلف، كما بدأ للتو رذرفورد ومساعدوه يفهمون الأمور. وقد فهموا كذلك أن هناك معضلة أساسية في هذه الصورة. فالفيزيائيون

يعلمون أن الجسيمة المشحونة تبعث أشعة إذا عُجلت، ولذا فإن الإلكترون الذي يدور حول النواة لا بد أن يبعث بأشعة. وإذا بعث بأشعة فلابد أن يفقد طاقة ويصنع حلزونا ليصطدم بالنواة. لكننا نعرف بخبرتنا العملية أن المادة كلها لا تتوهج وأن حقيقة وجودنا هنا تشهد بأن الذرات كلها لا تتفكك بصورة مستمرة. ولم يجد هذا التناقض حلا إلا فيما بعد خلال العقد الأول من القرن العشرين. كان أهم ما أنتجه معمل رذرفورد هو المريدون أو المحميون. وفي بداية القرن العشرين جاء هنريك دافيد نيلس بوهر، في زيارة ممتدة، واقترح تعديلات في نموذج الذرة بحيث تتوافق مع الملاحظات. غير أن هذه القصة تنتمي أكثر إلى القرن العشرين وليس التاسع عشر، لذلك سنرجئها حتى ذلك الحين. ويكفي هنا أن نذكر أن التقدم الدرامي استمر بالرغم من أنه كان مبنيا على أساس نموذج معيب باعتراف الجميع.

هنري موسلي

تقدمت الأمور خطوة كبيرة إلى الأمام عندما أثبت هنري جوينـجيفريس موسلي، تلميذ رذرفورد، أن الشحنة الموجبة على أنوية العناصر تزداد بقيمة1كلما انتقلنا خانة في جدول مندلييف الدوري، وذلك بتحليل طيف أشعة «X». وقد أطلق على هذه الشحنة اسم «العدد الذري»، وكشف، لأول مرة بطريقة تجريبية، الأساس المنطقي للجدول الدوري: للعنصر الأول شحنة موجبة واحدة على النواة، وللعنصر الثاني شحنتان وللثالث ثلاث شحنات... وهكذا حتى تكتمل العناصر الأكثر من مائة المعروفة اليوم. ولا يمكن أن نعرف أبدا ما الذي كان يمكن أن يشارك به الشاب موسلي في تقدم العلم أكثر من ذلك. فقد تطوع للخدمة العسكرية مثل كثيرين غيره من الشباب الوطنيين عندما اندلعت الحرب العالمية الأولى، وقتل في جاليبولي وهو بعد في السابعة والعشرين من عمره.

وهكذا، بظهور أبحاث موسلي قد يبدو أن الأمر قد اكتمل، فقد رأينا المنطق الذي ترتبت على أساسه العناصر في الجدول الدوري، وتفسيرا للأوزان الذرية. ولكن لم يكن اكتشاف عناصر جديدة هو كل هم الكيميائيين غير العضويين. فلكل عنصر من هذه العناصر كيمياء وخواص يجب اكتشافها. وقد اعتمدت عملية اكتشاف كيمياء وخواص هذه العناصر على

استيضاح خاصية أخرى للمواد وهي مقدرة هذه المواد على تكوين جسيمات مشحونة أو أيونات. وقد جاءت الإجابة عن هذه التساؤلات من المحاليل.

الأيونات

تتكون المحاليل عندما تنتشر مادة ما(المذاب) بتجانس في مادة أخرى (المذيب). وتسلك هاتان المادتان (المذيب والمذاب) سلوكا يختلف عن سلوكهما في الحالة النقية. فمثلا يتجمد الماء المالح في درجة حرارة أقل من الماء النقي. وتسمى هذه الظاهرة بانخفاض درجة التجمد، وهي السبب وراء وضع الملح على الطرق المكسوة بالجليد. ولابد من تسخين محلول الإيثيلين جليكول لدرجة حرارة أعلى من الماء النقي حتى يغلي، وهي الظاهرة المسماة بارتفاع درجة الغليان. وتفسر هذه الظاهرة استخدام محلول الإيثيلين جليكول(مضاد التجمد). في مبردات السيارات صيفا. وهناك ظاهرة أخرى مرتبطة بالمحاليل وهي الأسموزية. فعندما يتماس محلول مع مذيب نقي من خلال غشاء شبه مسامي (غشاء يسمع بمرور المذيب ولا يسمح بمرور أي شيء مذاب فيه)، فإن المذيب يسري تجاه المحلول في محاولة لتخفيفه. وتفسر ظاهرة الأسموزية. انتفاخ الكرفس المرتخي (اللين) بنقعه في الماء النقي. فالماء يعبر خلال الغشاء الخلوي ليخفف المحلول الملحي داخل الخلايا التي تعرضت للجفاف. كذلك تفسر ظاهرة الأسموزية انكماش المخللات في المحلول الملحي، فالمحلول الملحي هنا أكثر ملوحة من المحلول في خلايا الخيار، لذلك يسري الماء من خلايا الخيار إلى الخارج، في محاولة لتخفيف الماء الملحي.

وتبعا لفهمنا اليوم لهذه الظواهر، فإن المحرك لها هو الأنتروبيا. فالأنظمة تميل إلى التطور تجاه أقصى حالات اللانظامية (أقصى أنتروبيا) ودرجة اللانظامية في محلول يحتوي على دقائق المذاب أكبر منها في المذيب النقي. وإضافة طاقة إلى نظام يرفع من درجة اللانظامية فيه (مثل خلط أوراق اللعب الذي يزيد من اللانظامية)، وتتبخر السوائل عند تسخينها (إضافة طاقة إليها)، لأن طور الغاز على درجة أعلى من اللانظامية. فإذا كان السائل يحتوي على دقائق من المذاب فإن البخر لن يرفع كثيرا من درجة اللانظامية، ولذا ترتفع درجة الغليان (يتطلب الأمر مزيدا من الطاقة

للوصول إلى طور الغاز).

والحالة الجامدة أكثر نظامية من السائلة، لذلك يلزم تبريد السوائل لتتجمد (إزالة الطاقة منها). فإذا كان السائل يحتوي على دقائق من المذاب، فإن التجمد يتسبب في تغير للنظام أكبر مما يدفع درجة التجمد لأسفل (لإزالة مزيد من الطاقة).

ويسري المذيب النقي تجاه المحلول، لأن المخلوط له درجة لا نظامية أعلى من المذيب النقي، الأمر الذي يدفع السريان الأسموزي.

ومن المعروف الآن أن هذه التأثيرات تعتمد على عدد الدقائق وليس على نوعها. لذلك فإن محلولين أحداهما محلول ملحي والآخر محلول سكري يحتوي على العدد نفسه من الدقائق مثل محلول الملح، سيظهر محلول الملح هذه التأثيرات أكثر من محلول السكر لأن جزيء السكر يظل سليما كما هو عند إذابته، أما الملح فإنه ينقسم إلى أيونات في المحلول، إحداها أيونات الصوديوم الموجبة (Na) والأخرى أيونات الكلور السالبة(Cl) وبذلك يوجد ضعف عدد الدقائق المتوقعة من الصيغة (NaCl). كان هذا السلوك يعد غريبا في ذلك الوقت، لأنه كان من المعتقد، كما كان فاراداي يظن، أن الأيونات تتكون فقط عند مرور تيار كهربي خلال السائل. ثم جاء عالم معين بحل لهذه المعضلة.

سفانتي أوجست أرهينيوس

افترض أرهينيوس، في رسالته العلمية لاستكمال دراسته في الكيمياء، وجود أيونات دائمة في المحلول وذلك لتفسير الانخفاض لدرجة التجمد الأكثر من المتوقع، كذلك الارتفاع في درجة الغليان الأعلى من المتوقع، في محاليل الأملاح. لكن جاء تقييم رسالته درجة رابعة ودفاعه عنها درجة ثالثة، مما وضع حدا لآماله في الحصول على أي وظيفة أكاديمية على مستوى الجامعة. لجأ أرهينيوس إلى إرسال رسالته إلى كيميائيين مختلفين على أمل أن يحظى ببعض التعاطف. غير أن كاوزيوس ومايير وآخرين وضعوها ضمن ملفاتهم. وقد تلقى أوزوالد نسخة في اليوم الذي وضعت فيه زوجته طفلها وكان هو ضحية آلام الأسنان. وقد قال فيما بعد «كان ذلك كثيرا بالنسبة ليوم واحد، والأسوأ من ذلك أن الرسالة كانت بالنسبة

للآخرين شيئا عاديا»[14].

ومع ذلك، كان أوزوالد قادرا على إعادة بعض تجارب أرهينيوس مما جعله، أخيرا، ينتصر للفكرة وللمؤلف وبمعاونة نفوذ أوزوالد أعطي أرهينيوس وظيفة محاضر. وقد أيد فانت هوف كذلك نظرية أرهينيوس وطور التفسير النظري لسلوك المحاليل المثالية (المحاليل التي فيها قوى التداخل بين جميع المكونات واحدة). وبفضل تعضيد أوزوالد، وأخيرا فانت هوف، اكتسبت نظرية أرهينيوس عن الأيونات الدائمة أخيرا القبول والاعتراف وبالذات لأنها قدمت بنجاح تفسيرا للمشاهدات التجريبية.

وقد ظل أرهينيوس مهتما بالطرق والأفكار الجديدة طوال حياته وكتب عن واحد من أكثر الأمور إثارة في كتاب «تكوين العوالم». وقد افترض في هذا الكتاب نظرية «النطف الكونية»، التي تقول بإمكان نشر الحياة عن طريق بذور تنتقل عبر الكون بواسطة ضغط الإشعاع. غير أن هذه النظرية كانت تفترض وجود وسط بين النجوم بدلا من الفراغ العظيم الذي نعلم أنه موجود الآن.

وقد ساعدت نظرية أرهينيوس عن الأيونات في تقدم الأبحاث لدرجة كبيرة حول المركبات غير العضوية ذات الألوان الزاهية والتي تسمى المتراكبات التناسقية. والكثير من الصبغات والمواد النشطة حيويا، مثل الهيموجلوبين والكلوروفيل، ليست إلا متراكبات تناسقية: مركبات مستقرة يمكن فصلها وتتكون عموما من أيون فلزي مركزي مشحون شحنة موجبة محاط بمجموعات تناسقية أو ليجاندات مثل الأمونيا أو الماء. ويتراوح عدد الليجاندات بين واحد وعشرة، لكن الأكثر شيوعا هو العدد ستة، حيث تحيط الليجاندات بالعنصر المركزي في بنية تماثل ولد الكوتشينة (والفلز مثل لعبة ذات ستة أذرع لالتقاط ولد الكوتشينة)، أو ما يماثل نجمة ثلاثية الأبعاد، سداسية الأطراف.

ولم تسبب حقيقة أن الليجاندات التناسقية ليس لها دائما شحنة مضادة للفلز إزعاجا كثيرا، لأن معظم الكيميائيين تقبلوا سقوط نظرية برزيليوس الثنائية، والتي كانت تتطلب شحنة موجبة وشحنة سالبة لتكوين الرابطة. وكان البعض منهم يأمل في أن يكون الاستثناء من هذه النظرية وقفا على الكيمياء العضوية، غير أنهم كانوا مجبرين على تقبل ما بدا كأنه رابطة غير

كهربية في المركبات غير العضوية كذلك. أما المشكلة فكان سببها أن هذه المتراكبات كانت تهدد بتحدي مفهوم التكافؤ، ولأن التكافؤ قد نجح بشكل جيد في المركبات العضوية، كان من الصعب التنازل عنه هنا.

وفي الواقع كان فرانكلاند، صاحب نظرية التكافؤ، قادرا على تخيل فكرة التكافؤ، المتغير ـ تماما مثل المحتال الذي يتحدى التكافؤ البشري2ـ لذا فإنه لم يكن ليصد عن المركبات ذات الأعداد المتغيرة من الليجاندات. أما عند كيكولي، زعيم الكيمياء العضوية، فإن نظرية التكافؤ كانت تعني قيما ثابتة مطلقة للتكافؤ تميز العناصر، مثل الأوزان الذرية، ولم يكن ليتراجع عن ذلك. وعندما واجهته حقيقة خامس كلوريد الفوسفور (المكون من ذرة فوسفور محاطة بخمس ذرات كلور)، فإنه قال بأن ذلك كان في الواقع ثالث كلوريد الفوسفور (المكون من ذرة فوسفور محاطة بثلاث ذرات كلور)، مرتبط به جزيء كلور، لأن كيكولي قرر أنه لابد للفوسفور من تكافؤ3. وكان تفسيره ذلك شبيها بقولك إن البقرة هي حصان مرتبط به قرنان، ولم تستطع أن تصبح مقنعة.

وكان باحثون آخرون يميلون تجاه القبول بتعدد التكافؤ في أثناء بحثهم عن تفسير، لكن سلطة كيكولي كانت تسحق مثل هذه المحاولات. وقد تمكنت نظرية واحدة، حققت بعض القبول، من تفسير وجود الليجاندات الزائدة مع الحفاظ على تكافؤ ثابت، هي نظرية السلسلة، وصاحبها هو كريستيان ويلهلم بلومستراند. وفي هذه النظرية كان يتم الحفاظ على التكافؤ ثابتا بينما ترتبط الليجاندات الزائدة على شكل سلاسل تمتد من مجموعة مركزية. وكان ينظر لهذه السلاسل على أنها تماثل سلاسل الكربون الموجودة في الكيمياء العضوية، وهي الفكرة التي ثبت نجاحها في هذا المجال. وقد عُدلت هذه النظرية وطُبقت بواسطة سوفوس ماوز جورجنسن بجامعة كوبنهاجن الذي تمكن بمعاونة أبحاث تجريبية دقيقة من التواصل لإثبات مادي لها، لكن عربة التفاح قلبت رأسا على عقب بواسطة كيميائي عضوي شاب خرج ليثبت لنفسه اسما، وقد نجح في ذلك. كان مؤسس الكيمياء التناسقية المتراكبة، واسمه ألفريد فرنر.

ألفريد فرنر

ولد ألفريد فرنر في ذلك الشريط غير المحظوظ الممتد بين فرنسا

وألمانيا أو منطقة «إلزاس ـ لورين». غطت الحروب المدينة التي ولد فيها فرنر، والتي احتلت وأعيد احتلالها مرارا طوال التاريخ حتى انضمت أخيرا طائعة لفرنسا، وهي مدينة مول هاوس. وعندما كان طفلا خبر الحرب الفرانكوبروسية التي نتج عنها استيلاء الرايخ الألمانى على مول هاوس. غادر المدينة كثير من المواطنين الذين ربطتهم بفرنسا روابط دينية أو عرقية، غير أن والدي فرنر اختارا البقاء ضاربين عرض الحائط بمقاومة السلطات الرسمية ورفضهم استخدام اللغة الفرنسية وليس الألمانية في المنزل .

احتفظ فرنر في ذاكرته بذكريات اللعب ببندقية مصوبة تجاه جنود الاحتلال الألمان، وقد احتفظ بشظية قنبلة ليستعملها كثقالة للورق. لم يكن طالبا مجدا وكان غالبا ما يحتفظ بقطعة كرتون مختبئة في بنطاله ليتقي بها العقاب البدني الذي كان يناله نتيجة التخلف عن الدرس. غير أن الذين كتبوا سيرة حياة فرنر كانوا يعتبرون هذه الروح المتمردة ميزة وأنها مصدر إبداعاته[15]. وهناك قصص تروى عن تجارب الكيمياء التي كانت تجري في الحظيرة القائمة خلف البيت وعن غرفة النوم التي حولها الانفجار إلى أنقاض.

شب فرنر عريض الأكتاف ذا شعر فاتح وعينين زرقاوين. وعندما بلغ18عاما استدعي لأداء الخدمة العسكرية. وعندما انتهى من هذه الخدمة أكمل أبحاثه لرسالة الدكتوراه (على الرغم من إسقاطه لبعض المقررات في الرياضيات). وقد تأهل ليصبح محاضرا من دون مرتب، يستطيع أن يجمع أجره من الطلاب، وهي درجة أولى في السلم الأكاديمي. أمضى فرنر العامين التاليين يكد في وظيفة المحاضر من دون أجر، ويقدح ذهنه في مسألة المركبات الجزيئية والتكافؤ. وقد استيقظ في الثانية صباحا في أحد الأيام وأخذ يكتب، وفي الخامسة من بعد ظهر اليوم نفسه كان قد أتم أشهر مقالة علمية له «المساهمة في تركيب المركبات غير العضوية». وقد بيَّن فيها لأول مرة أسس ما أصبح أخيرا معترفا به كنظرية للمتراكبات التناسقية.

قام فرنر في معالجته بتخفيف أفكار كيكولي حول التكافؤ الثابت المحدد وجعلها كرة من القوى تأتي من العنصر المركزي. وقد اقترح فكرة العدد التناسقي، وهو العدد المفضل من الليجاندات التي تستهدفها لترتبط بها

ذزة الفلز. كانت هذه الأفكار متضاربة لكنها مثيرة بما يكفي لكي تؤمن له وظيفة في جامعة زيورخ. أطلق فرنر شاربه ولحيته ليكتسب احترام الطلاب، وزاد وزنه حتى صار قصيرا ممتلئ الجسم. وتزوج من إحدى مواطنات زيورخ، وتخلى عن جنسيته الألمانية لينشئ أسرة وليثبت نظريته. استكمل إنشاء الأسرة في ثمانية أعوام، لكن إثبات النظرية (استغرق منه 20 عاما).

ازدهر فرنر ونما في أبحاثه، وقد تمكن بفضل العديد من التحضيرات المضجرة من تحضير مركبات ذات خواص متوقعة من البنية التي افترضها. فمثلا تمتلك ثمانيات الأوجه التي اقترح وجودها في أماكن معينة ثابتة حول المركز خاصية «الكفّية»، وتدير الضوء المستقطب. فإذا اكتُشفت هذه المركبات لكان نشاطها الضوئي دليلا على صحة أفكار فرنر. ومع أن فرنر لم يصادف حظ باستير نفسه وبلوراته ذات الحجم الذي يصلح للملقاط، فقد لاقى الأمرين لفصل البلورات اليمينية عن اليسارية. وقد نجح بعد 18عاما من المحاولات بمساعدة طالب دكتوراه من الولايات المتحدة هو فيكتور كينج.

ولكن، حتى بعد ذلك كان النقاد يظهرون. فقد كان مفهوما لهم أن النشاط الضوئي خاصية موقوفة على الكربون فقط، وكانت أيزومرات فرنر الضوئية تحتوي على الكربون، لذلك تخيل النقاد أن الكربون كان هو مصدر النشاط الضوئي. وفي العام1914، بدد فرنر هذه الشكوك بمعاونة طالبة الدكتوراه صوفي ماتيسين، وذلك بعزل متراكب نشط ضوئيا يحتوي على النيتروجين والهيدروجين والأكسجين ولكن لا يحتوي على الكربون. وكان نصرا مبينا.

ولكي ندرك من هو فرنر، فإننا لابد أن نتيقن أنه في أثناء قيامه بكل الإنجازات السابقة كان يقوم بتعليم وتدريب طلاب الدكتوراه، وكان خطيبا ذا شهرة واسعة. وكانت قاعة المحاضرات تزدحم بضعف سعتها من الطلاب الذين كانوا يجلسون في الممر بين المقاعد ويلتفون حول منضدة التجارب. وكان يغمى على الطلاب صيفا (عصر ما قبل تكييف الهواء)، وكان القلق يسود تخوفا من حدوث حريق أو انفجار. وكان أحد أسماء التحبب لفرنر هو Professor Nunwieghets من عبارة محببة لديه تقول Nun,wieghets أي «كيف تمضي الامور؟» ومن ثم كانت المزحة تقول: متى يشغل الكيميائي

أصغر حيز في محاضرة الأستاذ «كيف تمضي الأمور»[16].

وخلال حياته الوظيفية، أشرف على قرابة 200 طالب دكتوراه، وقد كان للمرأة نصيب في إجراء البحوث مع فرنر حيث كانت جامعة زيورخ أول جامعة أوروبية تسمح للمرأة بالالتحاق كطالبة دكتوراه. وقد كان الطلاب يجيئون خصيصا للدراسة تحت إشرافه من كل أوروبا ومن الأمريكتين، على الرغم من ظروف المعمل في المبنى الأصلي للكيمياء والتي كانت بعيدة عن المثالية، لكن فرنر كان أستاذ المهمات الصعبة.

كانت المعامل الرسمية تدعى بشكل غير رسمي بالمدافن، وكانت على شكل سراديب سيئة التهوية تحتاج دائما إلى إضاءة صناعية. وكان الهواء سيئا لدرجة أن الدارسين اختلقوا عينة منه، وقالوا إنها تحتوي على «50٪ أبخرة للأحماض، و30٪ روائح التحضيرات السيئة الرائحة... و10٪ دخان السجائر... و5٪ كحول... و5٪ غاز الإضاءة... وهي تكفي لإرسال أي شخص ضعيف المقاومة إلى العالم الآخر (Great beyond)»[17]. وعندما حصل فرنر على وعد ببناية جديدة أخذ يعمل دون كلل في تصميمها في الوقت نفسه الذي لم يتوقف فيه عن إجراء أهم أبحاثه. وكان الثمن الذي عليه أن يدفعه غاليا، فقد أصبحت طريقته العصبية في التعامل غاية في الحدة، فقد ذكر أنه قذف طالبا بمقعد في أثناء اختبار شفاهي عندما حصل على درجة سيئة، وكذلك جرف بيده منضدة قذرة في المعمل، فأوقع المحاليل على الأرض متهشمة. انغمس بالتدريج في عمله وزادت فترات بقائه في الجامعة وقلت فترات مكوثه في البيت. ولأنه لم يجد وقتا كافيا للراحة والاسترخاء، التمسهما في الكحول، وازدادت درجة إدمانه له، وتسلم أخيرا المبنى الجديد، لكن تضافرت عليه فترات العمل الزائدة والوزن الزائد والتدخين والكحول فنالت من صحته. وبدأت معاناته من قصور في الدورة الدموية وصداع. وقد أجبر أخيرا على الاستقالة من وظيفته، ومات في مستشفى للأمراض النفسية في زيورخ بعد شهر واحد من ذلك وعمره (53) عاما. غير أنه كان قد أنجز مساهمته المستمرة في العلم. وجاء من بعده الكيميائيون المتتالون ليبنوا على الأسس التى شيدها فرنر.

وبأبحاث فرنر، يمكن إدراك المدى البعيد الذي ذهبت إليه الكيمياء غير العضوية في بداية القرن العشرين بعد أن كانت مجرد كيمياء للمعادن

يتولاها الكيميائيون جامعو الصخور في القرن التاسع عشر. وبعد الثورة الكيميائية تركز الاهتمام على اكتشاف العناصر الجديدة التي كانت غالبيتها من الفلزات، وكانت كيمياء هذه العناصر تسعى في الأساس لفصلها وتنقيتها. وكان لبعض هذه العناصر خاصية فيزيائية فريدة هي الإشعاع، الذي ساهم في فهمنا لبنية الذرة. وقد أظهرت العديد من العناصر الجديدة كذلك خواص كيميائية فريدة أدت إلى فهم أفضل لظاهرة التأيُّن وتحسين مفهوم التكافؤ. ومن أبحاث فرنر نرى أن هذه المعلومات قد سمحت للكيميائيين غير العضويين مثل ما حدث للكيميائيين العضويين أن يفعلوا أكثر من مجرد مشاهدة الكيمياء: لقد أصبحوا يتحكمون الآن في التفاعلات. وقد بيَّن فرنر أن الكيمياء غير العضوية التخليقية لها قيمة الكيمياء العضوية التخليقية نفسها كهدف يمكن تحقيقه.

وقد أشعلت دراسة العناصر غير العضوية الجديدة نار الحماس في مجالات أخرى مثل الكيمياء التحليلية (فن اكتشاف تركيب وهيئة المواد). وسنعرض في الفصل القادم لتطور هذا الفرع من الكيمياء بالذات مع رفيقين آخرين على درجة من الغرابة، هما الكيمياء الصناعية والكيمياء الحيوية.

١٤ حوالى ١٨٤٨ ـ ١٩١٤
الكيمياء التحليلية والصناعية والحيوية: إبداعات الفحم

- الكيمياء الحيوية
- الكيمياء التحليلية
- صناعات أواخر القرن التاسع عشر الأخرى
- الحرب العالمية الأولى
- الحرب الكيميائية

بحلول نهاية القرن التاسع عشر أصبح الكيميائيون يوظفون النظريات والتقنيات الجديدة للكيمياء، العضوية وغير العضوية، في الصناعة لتخليق منتجات وأدوية جديدة. وكان لديهم المناخ المعملي المثالي لكي يعملوا وينجزوا متمثلا في ذلك السلام والتقدم والازدهار الذي شهدته أوروبا في ذلك الوقت. فقد كانت فرنسا تنعم بالجمهورية الثالثة، وألمانيا متحدة تحت راية القيصر التقدمي ويلهلم، وقوة الأسطول الإنجليزي تحافظ على المياه الإنجليزية هادئة. كانت أوروبا أكبر مركز للعلوم، لكن العلوم أخذت تنتقل بانتظام إلى مركز الاستقرار الآخر (أمريكا الشمالية)، وتحديدا الولايات المتحدة. توثقت الروابط بين المركزين مع تحسين وسائل المواصلات والاتصالات: ظهر التليفون في السبعينيات من القرن التاسع عشر، وكانت الإشارات الراديوية تنتقل عبر الأطلنطي منذ 1901. وقد نضجت الولايات المتحدة وأصبحت مستعدة

لتلقي هذه العلوم بعد أن رسخت أقدام حكومتها ولوجودها بين محيطين يؤمنان حدودها. كانت الكهرباء في الطريق وآلات الاحتراق الداخلي على وشك أن تدير السيارات والطائرات والغواصات. غير أنه منذ منتصف القرن التاسع عشر وحتى بداية القرن العشرين، كانت الآلة البخارية هي المصدر الرئيسي للقوة، وكان البخار يتولد بواسطة الفحم. وقد ركز الكيميائيون أدواتهم الجديدة على كيمياء الفحم. وأدت المعلومات التي حصلوا عليها إلى ظهور حلزون صاعد من المنتجات الجديدة والاكتشافات الجديدة والثروات الجديدة وظهور نوعية جديدة من الحياة.

الفحم

تكون الفحم من نباتات المستنقعات التي ماتت منذ 300 مليون سنة تقريبا. وقد تحللت هذه النباتات ببطء، وهي معزولة عن أكسجين الهواء الجوي بواسطة المياه، فتخلصت من الأكسجين والهيدروجين ليتركز بها الكربون. والفحم عامل مختزل رائع لخامات الفلزات، عدا كونه وقودا. وتستخدم الصورة الأغنى بالكربون ، واسمها الكوك ، في صناعة الحديد والصلب.

ويصنع الكوك بتسخين الفحم بمعزل عن الهواء حيث ينتج غاز قابل للاشتعال يسمى غاز الفحم، وسائل لزج أسود اسمه قطران الفحم. ومع أن هذه المواد كانت تعد من النفايات التي يجب التخلص منها بالحرق أو بإلقائها بعيدا، إلا أنه أمكن أخيرا تطوير بعض الاستخدامات لها خلال القرن التاسع عشر.

كان غاز الفحم هو أول شيء تم استخدامه. وهو غاز قابل للانفجار وسام، نظرا لأنه يتكون أساسا من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون والهيدروكربونات. وهو يحتوي على آثار ضئيلة من مركبات الكبريت (طبيعية أو مضافة) تجعل له رائحة البيض الفاسد، لسهولة التعرف على الغاز إذا تسرب. وقد استخدم لإضاءة المنازل والشوارع منذ بداية القرن التاسع عشر، وكان هو الغاز الذي استخدمه بنزن، في مصباحه أثناء الدراسات الطيفية. وقد وجد قطران الفحم أول استخدام له في حماية الأخشاب. وقطران الفحم خليط معقد من المركبات العضوية الأروماتية التي تضم

البنزين والطولوين والزايلينات والنافثالين والفينولات والأنثراسين. وباكتشاف المزيد من المركبات في تركيبة قطران الفحم، وبتحديدها ودراستها، أصبح قطران الفحم الأساس لكيمياء جديدة تماما.

أُسست الكلية الملكية للكيمياء 1845 في لندن، وقد أقنع أحد رفاق الأمير أحد طلاب ليبزج - أوجست ويلهلم فون هوفمان - بالتوجه إليها. قام هوفمان بدراسة قطران الفحم. وسجل أحد تلاميذه، واسمه تشارلز مانسفيلد، اختراعا لعملية فصل بعض الهيدروكربونات الموجودة في قطران الفحم، لكنه مات محترقا عندما أمسكت النار بأحد أنبيقات التقطير الكبرى. وقد يفسر ذلك عداء هوفمان تجاه التطبيقات الصناعية لهذه المواد قبل أن تفهم خواصها الكيميائية بالكامل. غير أن التطبيق الصناعي كان له إغراء مادي، على الرغم من اعتراضات هوفمان، إلا أن جهودا كبيرة كانت تبذل هي هذا الاتجاه.

كان هدف الصناعة هو تطوير منتجات يستخدم فيها قطران الفحم المتوافر بغزارة كمادة أولية. كان الكينين أحد الأهداف المغرية، لأنه كان العلاج الوحيد الفعال ضد الملاريا. وقد كانت الملاريا - أو حتى الرعب من الإصابة بها - قد شكلت ثقافات وكسبت حروبا أو خسرتها منذ بداية التاريخ. (بنى الرومان مدينتهم فوق التلال للهرب من البعوض الحامل للملاريا). وعلى الرغم من أنهم وجدوا الكينين كشفاء من الملاريا، إلا أن معظم الناس لم تقدر على شرائه. وقد استخدم الكينين أول مرة بواسطة أحد الأوروبيين أثناء القرن السابع عشر، عندما كانت زوجة نائب ملك بيرو، الكونت كيمشون الرابع، تحتضر بفعل الملاريا، فتجرأ طبيب البلاط وقرر استخدام دواء طبيعي. ونجح الدواء، فأصبح يستقدم إلى أوروبا على شكل شحنات بحرية من لحاء كينشون (على اسم المريضة وليس اسم الطبيب!) حيث لا يمكن للشجرة نفسها أن تنمو في أوروبا[1].

تم استخلاص المكون الفعال في اللحاء بواسطة الكحول، حيث اكتشف الكيميائيون أربعة قلويدات في هذا المستخلص. وكان أكثرها نشاطا وفاعلية هو الكينين. وبمجرد أن عرف ذلك عن الكينين، بدأ السباق لتخليقه. وعندما حاول تلميذ آخر من تلاميذ هوفمان، هو وليم هنري بيركين ذو الثمانية عشر ربيعا، أن يخلق الكينين استخدم قطران الفحم كمادة أولية، إلا أنه

انتهى بإنتاج صبغة مخلقة.

وليم هنري بيركين

حصل بيركين على خليط لزج أسود كنتيجة لباكورة جهوده أثناء عمله في معمل منزلي الصنع في العقد السادس من القرن التاسع عشر. وهذه المادة في قاع إناء التفاعل ظاهرة عامة أثناء التخليق العضوي، وتسمى في أحاديث الكيميائيين العضويين اليوم «جوك» (gok) وهي الحروف الأولى من عبارة (God Only Knows) ـ أي الله وحده أعلم. وعندما كان بيركين يحاول تنظيف إناء التفاعل بالكحول، حصل على محلول أرجواني يصبغ الحرير بشكل جديد أخاذ. استقال بيركين من الكلية الملكية، على عكس نصيحة هوفمان له، وانغمس في الأعمال الحرة لينتج مع والده وأخيه الصبغة المخلقة الجديدة. انتشر اللون بسرعة خاصة في بلاط نابليون الثالث والملكة فيكتوريا التي زعمت أنه مقبول لملابس الصباح (كان الأمير ألبرت قد توفي حديثا). وهكذا وافى الحظ بيركين. ويعرف هذا اللون اليوم باسم «موف» على اسم بعض النباتات التي تحمل اللون نفسه.

وهكذا، مع أن بيركين بدأ بنوايا نبيلة (تخليق الكينين)، إلا أنه لاقى النجاح في مهنة عادية.

غير أن بيركين لم ينس اتجاهه الأصلي، فكان دائما يفضل إجراء الأبحاث الأساسية على أن يكون من رجال الصناعة. وأخيرا، باع بيركين براءات اختراعاته لمؤسسة تجارية ألمانية وتقاعد وهو في سن 37، بعد أن أصبح مليونيرا. صار بيركين بعد ذلك أستاذا جامعيا، وأحدث مساهمات حقيقية في مجالات الكيمياء العضوية التخليقية والبنيوية، وكذلك في مجال الكيمياء الفيزيائية.

كان أمرا ذا مغزى أن يقوم بيركين بالبيع لألماني. فقد كانت ألمانيا الموحدة حديثامصممة على تأمين اكتفاء ذاتي ومكانة في الاقتصاد الأوروبي والعالمي. وقد نجحت ألمانيا في ذلك بالمزاوجة بين العلم والصناعة[2]. وفي العقد الثاني من القرن العشرين قامت معاهد القيصر ويلهلم للكيمياء والكيمياء الفيزيائية والكهربية، وكذلك أسست على عجل معاهد أخرى ذات تركيز خاص على أمور عادية (مثل معهد القيصر ويلهلم لأبحاث الفحم).

وقد تحمس القيصر بالنجاحات التي رآها بالفعل نتيجة التعاون بين الكيمياء الصناعية الألمانية والكيمياء الأكاديمية، والذي أُسس كليةً على نجاح أصباغ النسيج.

صناعة الصباغة الألمانية

تزامن حلول السلام والازدهار في نهاية القرن التاسع عشر مع ظهور الرغبة في نوعية - عمليا - أفضل من الحياة - سواء كانت حقيقية أم خيالية. فقد خلق ذلك طلبا متزايدا على البضائع الاستهلاكية، بما في ذلك الملابس المصبوغة للزينة. وكانت كل الأصباغ - عمليا - قبل نهاية القرن التاسع عشر منتجات طبيعية يتم استخلاصها من نباتات لا تنمو إلا في ظروف خاصة - عادة خارج أوروبا. وقد كان محصول هذه النباتات يشكل دخلا جيدا للمناطق التي تنمو فيها وللمستوردين.

وقد عمل الوكلاء التجاريون الألمان على حصار السوق فيما يتعلق بمصادر الأصباغ الطبيعية عندما تيقنوا من الإمكانات الاقتصادية لها. فكانت الهند - على سبيل المثال - هي مصدر صبغة النيلة، الموجودة في نبات النيلة، ولذلك كان أغلب إنتاج الهند من النبيلة الطبيعية تحت سيطرة الشركة الألمانية BASF (Badische Anilin und Soda-Fabrik)، أي (شركة بادن للصباغة والصودا) ومقرها قرب قرية بادن، ومع ذلك كان تدفق الأموال بكميات معقولة إلى الهند مازال مستمرا.

كان ميزان المدفوعات البريطاني يعاني المشاكل التي يسببها استيراد الشاي الصيني. وقد اختارت بريطانيا أن تعالج ذلك ببيع أفيون الهند إلى الصين، الأمر الذي نتج عنه حرب الأفيون. وقد تجنبت ألمانيا الحل العسكري لمشكلة ميزان المدفوعات، وذلك باللجوء إلى الأصباغ المخلقة التي أعطت ألمانيا - عمليا - احتكارا عالميا. وقد ارتفع تصدير ألمانيا للأصباغ من الصفر سنة 1860إلى 80٪ من حاجة العالم سنة 1890، وبحلول 1914، كانت ألمانيا تمد العالم بـ 90٪ من حاجته. كوّن المنتجون الألمان «كارتل»، أي اتحاد أو جمعية للمنتفعين أصبحت معروفة باسم I.G. Farben (كلمة Farben تعني لون). وقد باشرت معامل هذا الاتحاد في إنتاج الكيماويات الدقيقة والأدوية إلى جوار الأصباغ. وبالطبع لم يكن أي من هذه الأمور ممكنا دون كيميائيين

مثل أدولف فون بايير الذي تمكن من تخليق النيلة في الثمانينيات من القرن التاسع عشر.

أدولف فون بايير

بدأ بايير في إجراء تجاربه الكيميائية في المنزل وهو في التاسعة من العمر، وقد ذكر فيما بعد أنه بدأ يعمل على صبغة النيلة عندما كان عمره 13عاما. درس في معمل بنزن ـ أشهر المعامل في أوروبا ـ لكنه انتقل إلى كيكولى بعد خلاف مع بنزن. قدم رسالته إلى جامعة برلين حول المركبات الكاكوديلية ـ المركبات المؤذية التي أصابت بنزن بالأذى ـ لكن لجنة الامتحان قيمتها تقييما ضعيفا، فعاد بايير ثانية ليعمل مع كيكولي.

وحصل أخيرا على وظيفة في معهد برلين للتكنولوجيا حيث كانت المرتبات ضعيفة لكن المعامل كانت جيدة. وقام بايير بعزل حمض الباربتيوريك في هذه المعامل، وهو المادة الأساسية في عائلة الباربتيورات. وقد أطلق عليه بايير اسم صديقته ـ باربارا ـ على الأرجح (مع أن قاموس أكسفورد الإنجليزي يذكر بتحفظ أن مصدر هذه الكلمة مبهم). وعلى الرغم من هذا النجاح، إلا أنه وجد من الصعب أن يحصل على وظيفة في الجامعة بسبب التقدير الذي حصلت عليه رسالته. وقد حصل على وظيفة أستاذ في ستراسبورج بعد زواجه وهو في سن 39. وكان عليه أن يضطلع بالإشراف على بناء وإمكانات المعمل، وبإنهاء هذه العملية واصل أبحاثه على صبغة النيلة بمساعدة تلميذه إميل فيشر. وبعد عامين فقط انتقل إلى ميونيخ حيث كان عليه أن يقوم مرة ثانية بتشييد معمل. وقد تمكن من مواصلة العمل على صبغة النيلة لأن كثيرا من تلاميذه ومعاونيه انتقلوا معه. وقد توصل إلى تخليق هذه الصبغة سنة 1880. وجعل هذا التخليق لأحد المنتجات الطبيعية البسيطة مثل النيلة أجيالا لاحقة من العلماء تتطلع إلى مواد أكثر تعقيدا في الكيمياء الحيوية.

الكيمياء الحيوية

كانت دراسة المنتجات الطبيعية ـ تكونها ووظيفتها في الطبيعة ـ تشكل دائما جزءا من دراسة المواد، مع أن الطلاب لم يكونوا قد أطلقوا على

أنفسهم بعد اسم الكيميائيين الحيويين، إذ لم يظهر مصطلح كيمياء حيوية إلا سنة 1910[3]. وقد قام الكيميائيون بإنجاز واضح فيما يتعلق بتعيين بنية وخواص الكثير من المنتجات الطبيعية المهمة خلال العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر. وكان إميل فيشر تلميذ بايير هو السباق في هذا المجال.

إميل فيشر

كانت مجموعة من السكريات البسيطة ـ الجلوكوز والفركتوز والجالاكتوز والسوريوز ـ قد تم تعيينها في النباتات. وقد وجد أن لكل منها الصيغة الجزيئية $O_6 C_6H_{12}$ ، غير أن بنية كل منها لم تكن مفهومة. وفي الواقع أصبح النوع العام للمركبات التي تنتمي إليها السكريات معروفا باسم الكربوهيدرات، لأن الظن السائد في البداية كان يقول بأنها كربون محاط بجزيئات الماء. استجمع فيشر كل أسلحة الكيمياء ليجهز على هذه المشكلة. وقد اخترع كاشفا جديدا هو فينيل هيدرازين لتحضير مشتقات من السكريات (لاجتياز التسمم بالهيدرازين) واستنتج بذلك بنيتها.

أيقن فيشر أن هذه السكريات كيرالية (لها خاصية الكفية، وهي تأتي في شكلين مختلفين أحدهما صورة مرآة للآخر)، ويتم إنتاجها في الطبيعة بتفضيل أحدهما على الآخر (إحدى اليدين). وقد استخدم ذلك في دراسة الأنزيمات، وهي جزيئات البروتينات الموجودة في كل مكان كمواد محفزة طبيعية لها نفسها صفة كيرالية.

وقد اكتشف فيشر بجلاء نوعا من المركبات يشترك في وجود تركيب من حلقتين للكربون مع النيتروجين، وذلك أثناء دراسته لبنية البيورينات. والكافيين وحمض البوليك مثالان على هذا النوع من المركبات (تم استهلاك كمية كبيرة من البيورين أثناء إنتاج هذه الكلمات). أما حمض البوليك، فهو بيورين موجود في إفرازات البشر والطيور والزواحف وهو أحد المصادر الغنية بالنيتروجين في الجوانو أو براز الطيور الذي يستخدم في شيلي كسماد.

وتمت دراسة البروتينات ووحدات بنائها ـ الأحماض الأمينية ـ باستفاضة في هذا المجال.

كان السيستين أول حمض أمينى نقي تم عزله في أوائل القرن التاسع عشر من حصى المثانة (حصوات توجد في مجرى البول)، كذلك تم عزل الليوسين بعد ذلك من الجبن. غير أن عملية تكسير البروتينات (وهى جزيئات كبيرة تتكون من عديد من الأحماض الأمينية المربوطة ببعضها البعض) فشلت في استيضاح معظم الأحماض الأمينية المنفردة لأن الطرق المستخدمة وقتها كانت تلوك كل شئ بشكل عام. البروتينات والأحماض الأمينية وكل ما تطوله ، فقد كانت هذه الطرق تتضمن تسخين المواد في الصودا الكاوية أو حمض الكبريتيك المركز. ولم يتمكن من النجاة من هذه العملية غير حامض تيروسين وجلوتاميك، اللذين أمكن تعيينهما لأنهما الأكثر ثباتا.

استحضر فيشر إمكاناته المتفوقة ليجهز على الأحماض الأمينية كذلك. وقد استخدم طرقا أكثر دقة لعزلها من البروتينات، وحضَّر الكثير منها وطور أساليب لربطها ببعضها البعض في نماذج صغيرة للبروتينات تسمى الببتيدات. كذلك عزل فيشر وحدد الكثير من التربينات: مركبات الزيوت العطرية (ذات الشذى) والتي أمكن إزالتها من النباتات بالتقطير البخاري. وقد كانت هذه التقنية معروفة منذ القرن السادس عشر، لكن لم تفحص هذه المواد بصورة منتظمة إلا في القرن التاسع عشر. وقد أصابت هذه المواد الكيميائيين بالذعر، لأن الزيوت المستخلصة من النباتات كانت أساسا خليطا يكاد يكون متشابها من المركبات.

وبالمثل، فإن طراز المركبات القاعدية العضوية المحتوية على النيتروجين والأكسجين والمعزولة من النباتات والتي تعرف باسم القلويدات (مثل المورفين والكودايين والنيكوتين والكينين)، والتي عرفت منذ بدايات القرن، بل تم تحضير عدد من القلويدات النقية، كانت تفلت من استيضاح بنيتها لبعض الوقت. ولكثير من المنتجات الطبيعية، وبالذات القلويدات، تأثيرات فسيولوجية قوية، وللبعض منها تاريخ طويل كمواد طبيعية مثل الكينين والمورفين.

كانت الخطوة المنطقية التالية بعد عزل وتصنيف الكثير من المركبات الحيوية هي محاولة تخليق أهم هذه المنتجات الطبيعية. وقد حظيت المركبات ذات الفعالية الطبية بالنصيب الأكبر من هذه المحاولات، ونذكِّر هنا بأن

بيركين كان يحاول تخليق الكينين عندما وقع على صبغة الموف.

وعلى الرغم من أن تخليق الكينين قد راوغ الكيميائيين لنصف قرن من الزمان، إلا أن دواء شعبيا آخر معروفا بمقدرته الفائقة على خفض الحرارة، قد استسلم لجهود الكيميائيين بشكل أسهل، إنه الأسبرين.

الأسبرين

كتب إدموند ستون كاهن أكسفورد شاير يقول: «اكتشفت بخبرتي أن هناك لحاء لإحدى الأشجار البريطانية له تأثير قابض قوي (يوقف النزف)، وأنه يخفف الآلام ويعالج الاضطرابات»[4]. والحقيقة أن هذا العلاج كان معروفا لعامة الشعب في الريف لفترة طويلة قبل إدموند ستون، إلا أن الأمر استغرق بعض الوقت من علماء الأدوية الفرنسيين والألمان ليتوصلوا إلى المادة الفعالة في اكتشاف الكاهن ستون. وقد سميت البلورات الصفراء ذات الطعم اللاذع المستخلصة من اللحاء باسم ساليسين، من الاسم اللاتيني للصفصاف Salix alba. وقد سميت المادة النقية فيما بعد باسم حمض السليسيليك. وفي 1860، قام هيرمان كولب وتلامذته بتحضير ملح الصوديوم لحمض السليسيليك من الفينول وثاني أكسيدالكربون وهيدروكسيد الصوديوم. كان ملح الصوديوم فعالا في تخفيف قطاع عريض من الآلام، لكنه كان قاسيا على المعدة. وبالتحديد كان من الصعب أن يتحمل هذا الدواء والد أحد الكيميائيين العاملين في مجال الصباغة في قسم باير من «I.G. Farben» الذي كان مصابا بالتهاب المفاصل. اكتشف هذا الكيميائي، وهو فيلكس هوفمان، أن مركب حمض أسيتيل سليسيليك (المحضر من حمض السليسيليك وأندريد حمض الخليك) أقل إثارة وأنه أرحم بمعدة والده مع احتفاظه بتأثيره المخفف للآلام. وقد أطلق باير على الدواء الجديد اسم «أسبرين». والسبب في رائحة الخل التي كانت تنبعث من الأسبرين قديما هو أنه مشتق الأسيتيل من حمض السليسيليك. (يتفكك الأسبرين في الهواء الرطب إلى حمض الخليك الذي يوجد في الخل).

وجنبا إلى جنب مع البحث عن العلاج للأمراض، كان هناك أيضا البحث عن الأسباب، وفي هذا المجال، قطع الكيميائي لويس باستير ـ الذي سنلقاه فيما بعد ـ خطوات واسعة.

لويس باستير

اخترع أنتوني فان ليوينهويك العام 1670 ميكروسكوبا مثل الذي استخدمه هوك لاحقا. وشاهد بواسطته «الكائنات الدنيئة» و«الحييوينات» [5]، وهي من الصغر بحيث «إنني قدرت لو وضعت 100 من هذه الحيوانات الدقيقة في صف واحد متجاورة فإن طولها لن يصل إلى طول حبة رمل واحدة» [6]. وقد أصبحت هذه الحيوينات في يد لويس باستير شيئا مألوفا، وليس بدعة. وقد صنع باستير اسمه في الأساس بدراسة حمض الترتريك، أحد نواتج التخمر، غير أن باستير كان مهتما بعملية التخمر قدر اهتمامه بنواتجها، وقد توصل إلى استنتاجاته الخطيرة حول مصدر المرض والتحكم فيه أثناء دراسته لهذه العملية.

كان معروفا أن الخميرة تحدث التخمر، لكن آلية هذه العملية لم تكن مفهومة. وقد أعلن العديد من العلماء الذين راقبوا الخميرة تحت المكروسكوب أنها كائنات دقيقة (أحد حييوينات ليوينهويك). غير أن برزيليوس انتقد هذه التصريحات بشدة، معتقدا أن الخميرة هي محفزات كيميائية غير حية. وقد قام فوهلر ولايبج بنشر مقال انتقدا فيه بشكل لاذع فكرة الخميرة الحية وذلك بتصويرها على شكل حيوانات دقيقة تشبه قارورة التقطير، لها معدة مكشوفة وقناة هضمية وفتحة شرج (نقطة بلون وردي) وأعضاء إخراج للبول والبراز، ثم قاموا بوصف عملية التخمر كما لو أنها تتم بأن تتناول هذه الحيوانات السكر وتفرز الكحول من الجهاز الإفرازي وتخرج ثاني أكسيد الكربون من أعضائها الجنسية الضخمة [7]. لكن باستير أثبت أن التخمر مصحوب بنمو الخميرة، والنمو خاصية من خواص الأنظمة الحية. وفي النهاية انتصرت هذه الفكرة. وكان المفترض في ذلك الوقت أن التخمر والتحلل يحدثان بسبب تولد تلقائي لهذه الكائنات الدقيقة في الأوساط العضوية (مثل اللبن والنبيذ و اللحم)، إلا أن باستير أثبت أن الكائنات الدقيقة موجودة في الهواء والماء، وذلك بإغلاق الإناء المحتوي على الوسط العضوي بإحكام، أو بترشيح الهواء الداخل إليه، وبذلك يتوقف التعفن. كما أثبت باستير كذلك أن الوسط العضوي يمكن حفظه من التعفن بتكسير الكائنات الدقيقة - بالتسخين مثلا - وهي العملية المعروفة اليوم باسم البسترة، والتي تطبق روتينيا في الألبان والجعة.

ذهب باستير إلى أن الكائنات الدقيقة تتسبب في الكثير من الأمراض التي تتميز بتحلل السوائل والأنسجة (مثل الغنغرينا الغازية). وعلى الرغم من الأمل المعقود في التحكم في الأمراض الخبيثة والموت، إلا أن نظريات باستير تعرضت لقدر كبير من النقد من جانب المؤسسة الطبية. وانصب النقد الرئيسي على أن باستير توصل إلى تعميمات شاملة على أساس من نتائج قليلة جدا. ويمكننا أن نعتقد أن الأطباء الممارسين قد اختاروا أن يأخذوا جانب الحيطة والحذر، لأن الرهان كان عاليا، أما البعض رفض أن يبدأ في تطبيق إجراءات التعقيم مثل غسل اليدين. استخدم باستير بلاغة قاسية في الرد عليهم مما يمكن أن يكون قد سبب ضعفا في أسانيده. ومع ذلك، فقد كان هناك آخرون يبحثون بنشاط وهمة عن مطهرات لاستخدامها ضد الكائنات الدقيقة، مثلما مثلما فعل جوزيف ليترن الذي استخدم حمض الكربوليك (الفينول) كمضاد للتعفن (مطهر) لتعقيم الأدوات والجروح (بمحلول مخفف) فتسبب في خفض الوفيات بعد عمليات بتر الأعضاء بنسبة كبيرة تصل إلى 50٪ عما قبل.

اقتدى باستير بأعمال الطبيب إدوارد كينر، التي سبقته بقرن كامل، والذي كان قد لاحظ أن من يقومون بحلب الأبقار المصابة بجدري البقر نادرا ما يصابون هم أنفسهم بمرض الجدري، فحضر لقاحا ضد الجدري. أخذ باستير يبحث عن مصادر للبكتيريا الميتة يمكن استخدامها لإطلاق المناعة والوقاية ضد البكتريا الحية. وقد استخدم هذه الطرق بنجاح في وقاية الأغنام من مرض الجمرة، ثم حقن عامدا الطفل جوزيف ميستر وعمره 9 سنوات بسائل مخفف من كلب مسعور، وذلك مباشرة بعد أن عضه كلب مسعور آخر، فأنقذ حياته.

نجح باستير كذلك في إنقاذ الجعة الفرنسية والنبيذ وصناعة الحرير من الأزمات الناجمة عن التلوث بالميكروبات، وذلك بتعيين الكائنات الدقيقة المسؤولة عن ذلك ثم إيجاد طرق الوقاية منها. وكان دائما يشجع الروابط الوثيقة بين البحوث الكيميائية والصناعة عند طلابه، وقد بدأ الفصول المسائية للعمال والرحلات العلمية للمصانع عندما كان عميدا لكلية العلوم في جامعة ليل.

وقد أعطى التبادل بين الصناعة الكيميائية والدوائية ثماره التي جناها

بول إيرليش. فقد أخذ إيرليش ما كان معروفا عن كيمياء الأصباغ، وحوله إلى الطب مستخدما في ذلك حروف الـG الأربعة: (Geduld، Geschik، Geld، Glück) أي الصبر، الخيرة، المال، والحظ [8].

بول إيرليش

استخدم بول إيرليش، الذي كان طبيبا، الأصباغ ليلون بها الكائنات الدقيقة لتسهل ملاحظتها تحت الميكروسكوب. لم تفد الأصباغ الذائبة في الماء في هذا الموضوع، ولذا تحول بول إيرليش إلى الأصباغ المستخلصة من قطران الفحم. وعندما فعل ذلك، لاحظ أن بعض هذه الأصباغ قتلت الميكروبات في أثناء عملية التلوين. طوّر نظرية حول أسباب ارتباط الأصباغ بالميكروبات وليس بالعائل، ثم شرع في تحضير مركبات ليختبرها في هذا الشأن. وقد اكتشف في بداية القرن العشرين صبغة ذات فعالية ضد مرض النوم. وقد عمل على إيجاد صبغة مضادة للعضويات المسببة لمرض الزهري (السيفيلس) بعد اكتشاف هذه الأخيرة. وكان مساعده ساهاشيرو هاتا يشرف على اختبار مئات من مركبات الزرنيخ العضوية إلى أن تحدد أن المركب الرقم 606 له بعض الفعالية. وقد تم تسويقه تحت اسم سالفارسان (من اللاتينية Salvare بمعنى الوقاية أو الحفاظ على، و Sanitas بمعنى الصحة)، وكان ذلك أول دواء فعال ضد السيفيلس (الزهري) منذ العلاج بالزئبق الذي ابتكره باراسيليوس في القرن السادس عشر.

غير أنه كان هناك تهديد آخر للصحة في العنصر الصناعي لا يمت للحشرات الصغيرة بصلة، وإنما أحدثته الثورة الصناعية نفسها. لقد أصبحت نظافة الطعام مشكلة واضحة حيث أصبح المزيد من الطعام ينتج صناعيا في خطوط إنتاج ولا يصنع في البيوت. وقد أثار الصيدلاني والكيميائي الألماني فريدريك أكيوم العام 1820ـ والذي كان يعمل وقتها في إنجلترا ـ التساؤلات في كراسته ذات العنوان الدال: «الموت في القدر»[9]، والتي أعلن فيها أن صبغات الفلزات الثقيلة تستخدم في الأطعمة، فكانت كرومات الرصاص (الكروم الأصفر) يلون الحلوى الصفراء، وزرنيخيد النحاس (أخضر شيلي) يلون الحلوى الخضراء. كما كانت الأدوات الرصاصية تستخدم في إنتاج ومعالجة الأغذية. طرد بعدها من إنجلترا بتهمة ملفقة

هي تشويه الكتب في المعهد الملكي، وهي التهمة التي لم تفندها الصناعات الغذائية. لكن جهده أثار المطلب الشعبي حول نقاء الطعام.

وأدى هذا المطلب بالتآزر مع مطالب أخرى من مجالات الكيمياء الصناعية والطبية، إلى تحفيز نوع آخر من فروع الكيمياء : هو الكيمياء التحليلية. كانت الكيمياء التحليلية دائما موجودة في شكل المساعد الرئيسي لأي فحوص كيميائية، إلا أنه في نهاية العقد الأخير من القرن التاسع عشر استقلت بحياتها الخاصة.

الكيمياء التحليلية

اكتسبت الكيمياء التحليلية قوة دافعة من أعمال كارل ريميجيوس فريسنويس، الكيميائي الألماني الذي طلب من والده المحامي الثري أن يمول تأسيس معمل له وهو بعد في سن 30. وقد قام بإجراء التحاليل في هذا المعمل لمصلحة الوكالات الحكومية وأقسام الشرطة والصناعات الكيميائية. ودرَّس طرق التحليل وألف كتابين في التحليل الكمي أصبحا فيما بعد أعمالا مرجعية قياسية. وهنا يمكن إضافة حقيقة أنه لم يكن يتعين على والده أن يدعم أحفاده، لأن المعمل ظل يعمل على مدى أربعة أجيال متعاقبة من أسرة فريسنويس. وقد بدأ فريسنويس إصدار «مجلة الكيمياء التحليلية» في خطوة تعد ميلاد فرع جديد في الكيمياء. وتصور أعمال الكيميائية الأمريكية إيلين سوالو ريتشاردز، باختصار، التناغم بين الكيمياء التحليلية وكل من الكيمياء الصناعية والحيوية.

إيلين سوالو ريتشاردز

كانت الصورة في أواخر القرن التاسع عشر في الولايات المتحدة تضم عروض الغرب الأمريكي المتوحش التي كان لها شعبية كبيرة، وقطعان الجاموس تتجول بحرية، وكان جورج آرمسترونج كاستر يقف وقفته الشهيرة لآخر مرة في أثناء حربه السيوز. وفي العام 1861، كانت ييل تسجل أول دكتوراه فلسفة (Ph. D) (بالإنجليزية)، حيث حصل جوشيا ويللارد جيبس على أول دكتوراه في العلوم من ييل 1863. وفي العام 1842، ولدت إيلين في ماساشوستس لوالديها فاني وبيتر سوالو.

تلقت إيلين تعليمها في المنزل حتى سن 16، حيث انتقلت العائلة عندئذ إلى ويستفورد في ماساشوستس لتتمكن ابنتهم الوحيدة من الالتحاق بأكاديمية ويستفورد. قامت إيلين بالتدريس وإعطاء الدروس الخصوصية وتنظيف البيوت لتكسب النقود حتى سن 25. وتمكنت من الالتحاق بكلية فاسار (وهي معهد فتح حديثا للتعليم العالي للبنات). ودرست إيلين هناك الكيمياء والعلوم الأخرى.

حاولت إيلين عند تخرجها أن تعمل مع الكيميائيين التجاريين ، لكنها لم تقابل سوى الرفض بحزم. وقد اقترح عليها أحدهم أن تتقدم إلى معهد ماساشوستس للتقنية الذي أنشئ حديثا (MIT). وقد فعلت ذلك واغتبطت لأنها قبلت بالمعهد، وازداد اغتباطها عندما علمت أنها لن تدفع رسوم التعليم. وافترضت ساعتها أن إعفاءها من الرسوم جاء لظروفها المالية المتعثرة، لكنها عرفت فيما بعد أن ذلك جاء نتيجة مواجهة رئيس المعهد لمجلس الأمناء وقوله إنها ليست طالبة في الواقع. وقد حصلت على درجة بكالوريوس ثانية في أثناء وجودها فيMIT، وتقدمت بأبحاثها حول التحليل الكيميائي لخام الحديد إلى فاسار لتحصل على درجة الماجستير. ولم يكن من الممكن أن يمنح أعضاء هيئة التدريس في (MIT) إيلين درجة الدكتوراه، لأن منح أول دكتوراه من المعهد في الكيمياء لامرأة كان سيجعل مظهر المعهد مبتذلا وكأنه من الدرجة الثانية. كانت الكلية والإدارة اللتان سمحتا لها بالالتحاق بمعهد (MIT) ليبراليين في الحقيقة.

تزوجت إيلين في أثناء عملها كمساعدة لأساتذة MIT من روبرت هالويل ريتشاردز، أستاذ هندسة التعدين ورئيس معمل الميتالورجيا الجديد في MIT. كانا مناسبين لبعضهما، ولم يرزقا أطفالا، فنذرا كل طاقتهما للعلم. وأثبت روبرت ريتشاردز أنه خير العون لأعمال زوجته، فكان يشجعها كلما أمكن ذلك.

وأخيرا، عندما أصبحت حال إيلين ميسورة، فرغت نفسها لشيء مفضل لديها، تعليم العلوم للنساء. وقد أُسس معمل للنساء في MIT بفضل مجهوداتها. وأدخلت أول منهج في البيولوجيا إلى معهد MIT عندما كانت تقوم بالتدريس في هذا المعمل (دون مقابل). وقد تضمنت المناهج التي قامت بتدريسها كذلك الكيمياء التحليلية والكيمياء الصناعية وعلم المعادن

والبيولوجيا التطبيقية. وعندما بدأ MIT في استقبال النساء والسماح لهن بالالتحاق كطالبات منتظمات، انتقلت إيلين إلى المعمل المنشأ حديثا للكيمياء الصحية بعد أن عينت أخيرا في وظيفة معلم للكيمياء الصحية (غير أن هذه الوظيفة كانت أعلى ما وصلت إليه على الإطلاق). وقد أنجزت مشروعا للتحليل الشامل للماء لمصلحة مجلس الصحة في ماساشوستس حيث عملت سبعة أيام في الأسبوع لمدة 14 ساعة يوميا. وقد نتج عن هذا العمل أول معايير حكومية للمياه وأول مصنع حديث لمعالجة المجاري.

وقد أدارت إيلين ريتشاردز مكتبا خاصا للتحليل. وكتب زوجها:

كان صديقي دافيد براون من كوبر كليف يبحث عن معلومات بخصوص خام النحاس من منجمه في كوبر كليف، فأرسل عينات إلى عدد من المحللين من بينهم السيدة ريتشاردز. وقد أعاد الآخرون التحليل بالنسبة للنحاس فقط، لكنني أتجرأ وأقول إنهم لم يكونوا يعرفون حتى أن عليهم البحث عن أي شيء آخر. أما هي، فعلى العكس، قامت بإعطائه النسبة المئوية للنحاس في الخام، وكذلك نسبة خمسة بالمائة من النيكل. وإنني أعتقد أن هذه الواقعة كانت بداية صناعة النيكل الكبرى والتي كان مركزها مناجم كوبر كليف. وكان دافيد براون يقول دائما إن السيدة ريتشاردز هي أفضل من يحلل في الولايات المتحدة [10].

كانت إيلين المستشار الكيميائي على مدى عشر سنوات لشركة التأمين المتبادل ضد الحريق للمنتجين. وقد أدت الدراسة التي أجرتها على تطاير الزيوت إلى خفض حاد في تكاليف التأمين ضد الحريق وإنقاذ كثير من الأرواح. ألفت أكثر من 15 كتابا، منها «تصحيح الأشياء في المنزل»، و«تكاليف الحياة»، و«الهواء والماء والطعام»، و«تصحيح الأمور في الحياة اليومية»، و«تحليل الماء في الصناعة»، و«الحفظ بالتصحيح». وقد طورت منهج الاقتصاد المنزلي ليصبح منهجا منتظما في الدراسة الجامعية. وعلى الرغم من أن الاقتصاد المنزلي كان قد اكتسب سمعته بأنه مجرد ملاحقة مبتذلة من التلميذات لاصطياد الأزواج، إلا أنها قدمت الطريق المقبول لمشاركة النساء في العلوم، بعد أن كنَّ محجوبات عن ذلك. والاقتصاد المنزلي شيء جاد، فنظافة الطعام وسلامته كانتا ولا تزالان مهمتين وتلقيان بمسؤولية الحياة أو الموت على من يصنعه. كانت ريتشاردز نشطة في التنظيم الذي كان مقدرا له أن يصبح الاتحاد الأمريكي للمرأة الجامعية، حيث كانت واحدة من 18 عضوا مؤسسا. وكان واحد من أوائل مشروعات الاتحاد هو إجراء مسح على طالبات الدراسات العليا لدحض الاتهامات بأن الدراسات

الجامعية تؤثر سلبيا في صحة المرأة. (يؤكد مؤلفا هذا الكتاب على أن ذلك ليس صحيحا، فالدراسات الجامعية تؤثر سلبا في صحة كل إنسان).

صناعات أواخر القرن التاسع عشر الأخرى

كان النمو في الصناعة يفرز ويشجع نمو الكيمياء التحليلية والكيمياء الحيوية، كما كان الكيميائيون التحليليون والحيويون يعززون ويشجعون النمو في الصناعة. ومع أن صناعة التخمر كانت هي المستفيد المباشر من أبحاث باستير، إلا أن صناعة الصابون استفادت هي الأخرى بطريق غير مباشر: فقد ازداد الطلب العام على الصابون مع زيادة إدراك ومعرفة الناس بالكائنات الدقيقة. وسريعا ما تطلبت صناعة الصابون (وصناعة الزجاج) مزيدا من القلويات (كربونات البوتاسيوم والصوديوم)، التي تفوق كمياتها ما هو موجود في المصادر الطبيعية. وفي نهاية القرن التاسع عشر اندمجت خمس وأربعون شركة مكونة شركة القلويات المتحدة، المؤسسة العملاقة، والتي قامت على الإنتاج الصناعي للقلويات. غير أن الكثير من تاريخ الإنتاج الصناعي للقلويات يبدأ في القرن الثامن عشر مع تاريخ الكيميائي غير المحظوظ نيكولاس لابلانك.

نيكولاس لابلانك

كانت الحاجة إلى مصادر رخيصة ومنتشرة لكربونات الصوديوم محسوسة في فرنسا قبيل الثورة، حيث كانت تستورد كربونات الصوديوم أو تنتج من رماد الخشب. وقدمت الأكاديمية الفرنسية جائزة قيمة لأي إنسان يستطيع التوصل إلى طريقة لتحضير كربونات الصوديوم من ملح الطعام (كلوريد الصوديوم). وكانت فرنسا بالطبع تملك محيطات من الملح.

أصبح لابلانك مهتما بالكيمياء من خلال دراسته للطب، وعندما عُيِّنَ طبيبا لدوق أورليانز (وهو إنجاز عظيم) وجد الوقت والتمويل ليعمل في مشروعه المفضل: إيجاد طريقة لإنتاج كربونات الصوديوم من ملح البحر. وقد توصل إلى طريقة جديدة لتحضير كربونات الصوديوم، ولأن الباحثين في تحضير كربونات الصوديوم كانوا كثيرين، من هنا شكك البعض في أن تكون هذه الطريقة من أفكاره. وتمكن لابلانك من تخطي هذه العقبة، ومن

تخطي الجزء الأول من الثورة الفرنسية كذلك. ومُنح براءة اختراع على طريقته الجديدة دستوريا. وقد أقرضه دوق أورليانز - الذي يرعاه - مالا ليبني مصنعا على أساس طريقته الجديدة، وبدا أن المستقبل واعد. غير أنه بعد عامين فقط أدين الدوق بتهمة الإخلاص للملكية وأعدم بالمقصلة، واعتبر المصنع من أملاك الدوق الخاصة فتمت مصادرته، كما صودرت براءة اختراع لابلانك. وقد أعاد نابليون المصنع أخيرا إلى لابلانك، لكن من دون تعويض كاف ليتمكن المصنع من الإنتاج. ولما تيقن لابلانك أن هذه نهاية المطاف، أطلق على نفسه الرصاص.

ومع أن طريقة لابلانك قد استبدلت في النهاية بطريقة سولفاي (وسولفاي رجل صناعة آخر سيظهر اسمه مرة أخرى في هذا الكتاب)، إلا أن طريقة لابلانك هي التي بينت الطريق إلى تحسين الإنتاج الصناعي من خلال الأبحاث الكيميائية. وكانت الطريقة مهمة لسبب آخر، فقد كان الناتج الجانبي من غاز كلوريد الهيدروجين يطلق في الهواء الجوي مسببا الأمطار شديدة الحمضية بكل معنى الكلمة. وقد تسبب ذلك في أول تشريع بيئي، وهو لائحة القلويات البريطانية، والتي تفرض على منتجي الصودا أن يمرروا الغازات المتصاعدة من صناعتهم خلال أبراج امتصاص. (غير أن حمض الهيدروكلوريك المخفف المتكون في الأبراج كان يصرف في الجداول، حيث كان يختزن كبريتيد الكالسيوم كناتج جانبي في الحقول ليتحلل ببطء مطلقا الغاز السام ذا الرائحة الفظيعة، كبريتيد الهيدروجين). وفي أواخر القرن التاسع عشر، كان الأثر الاجتماعي للصناعة الكيميائية ما يزال غير معروف بعد، كما في مثال رجل صناعة كيميائية بارز آخر هو ألفريد نوبل.

ألفريد نوبل

لم تتغير صناعة المتفجرات الأوروبية إلا قليلا منذ أن عرفت مسحوق البارود حتى أواخر القرن التاسع عشر. وقد قام بيرثوليت ولافوازييه بإجراء التجارب على كلورات البوتاسيوم كبديل لنترات البوتاسيوم في مسحوق البارود، لكن المصائب التي تسبب فيها التفاعل الذي لا يخضع للتحكم وضعت نهاية لهذه التجارب. وفي منتصف القرن التاسع عشر تمكن الإيطالي أسكانيو سوبريرو من إضافة مجموعات نيترو (NO2) إلى الجليسيرول

(مركب عضوي مؤكْسَد يتم الحصول عليه في صناعة الصابون) وذلك بمعالجته بحمضي الكبريتيك والنيتريك. وكان هذا المركب النيتروجليسرين (الاسم مغلوط، فقد كان يجب تسميته نترات الجليسريل)، مادة متفجرة أقوى بعدة مرات من مسحوق البارود الأسود، غير أنه فيما يبدو كان غير ثابت بشكل لا يمكن التحكم فيه. وقد عانت الورش التي كانت تنتج هذه المادة من كوارث متعددة، بما في ذلك حوادث موت. ثم جاء تلميذ آخر من تلاميذ هوفمان في الكلية الملكية للكيمياء، واسمه فريدريك آبل، وأثبت أن النيتروسيليلوز المحضر من معالجة الأنسجة النباتية ـ السيليلوز ـ بخليط من حمض الكبريتيك والنيتريك، مادة متفجرة مستقرة إذا أزيلت منها بقايا الأحماض بالضغط (بالعصر). وقد وجدت هذه المادة المتفجرة المعروفة باسم المسحوق عديم الدخان، استخدامات في التعدين والذخائر الحربية. ثم بدأ أحد رجال الصناعة السويديين وهو إيمانويل نوبل في الستينيات من القرن التاسع عشر مع أربعة من أبنائه أبحاثهم على إنتاج النيتروجليسرين، وربما شجعهم على ذلك استقرار وثبات المسحوق عديم الدخان، لكن من المؤكد أن التشجيع الأساسي جاء من الإمكانات التسويقية للنيتروجليسرين.

كان ابنه الثالث، ألفريد نوبل، طفلا مريضا لا يستطيع الالتحاق بالمدرسة بشكل منتظم. وقد تمكن أخيرا من الدراسة في جامعة سانت بطرسبرج متخصصا في الكيمياء الصناعية وقام بأبحاث على النيتروجليسرين. وقد قتل أخوه وأربعة من مساعديه في أحد الانفجارات، لكن ذلك لم يوقف نوبل عن الاستمرار في الأبحاث بعد أن نقل معمله إلى مركب راسية على الشاطئ السويدي. وقد استخدم النيتروجليسرين في حفر قناة السويس، ومد خطوط السكك الحديدية في الولايات المتحدة، غير أنه كان مخادعا في أثناء العمل، وبعد الكثير من الحوادث والأرواح التي فقدت، حرمت حكومات عدة استخدامه. استمر نوبل في أبحاثه، ونجح أخيرا في جعل النيتروجليسرين ثابتا، وذلك بامتصاصه في النشارة أو في التربة المحتوية على بقايا متحجرة. وقد أطلق على المادة الجديدة اسم «ديناميت» (بالإشارة إلى قوتها الديناميكية) وحصل بها على براءة اختراع. وحيث إن الصورة المستقرة الجديدة أصبحت في حاجة إلى مفجر، فقد اخترع واحدا منها

على أساس فولمينات الزئبق. وقد أصبحت المادة المتفجرة الجديدة هي المادة المستخدمة روتينيا في أعمال التعدين والهندسة، وأصبح نوبل واحدا من أغنى الناس في العالم.

حافظ نوبل على اهتمامه بالكيمياء، وزود معظم أماكن إقامته الفاخرة بمعامل للكيمياء. ويروي أنه كان مقتنعا بأن شكله فظيع ولا يمكن أن يحبه أحد، لذا لم يتزوج أبدا، إلا أنه كانت له علاقة حب على مدى ثمانية عشر عاما بصوفي هيس، وهي امرأة كان قد قابلها في محل للزهور وقامت بخدمته. ربطت هيس نفسها بنوبل بشكل أو بآخر، ومع أنها في النهاية كانت تشكل عائقا ونفقات زائدة له إلا أن قلبه الرحيم لم يمكنه من قطع علاقته بها والتخلص منها.

ونشر نوبل في العام 1876 إعلانا في الصحف يقول فيه: «رجل مثقف غني متقدم في السن يطلب للعمل سكرتيرة ومشرفة على المنزل في باريس، بشرط أن تكون ناضجة على المستوى نفسه وتجيد اللغات»[11]. وعندما استجابت بيرتا كينسكي لهذا الإعلان، وجدته:

كان وقتها رجلا في الثالثة والأربعين من عمره. طوله على الأرجح أقل قليلا من المتوسط، له لحية كثيفة داكنة، وتقاطيعه ليست بالقبيحة ولا بالوسيمة، وطريقته في التعبير عابسة لا يخفف منها إلا عيناه الطيبتان الزرقاوان، وكانت تتناوب على صوته الكآبة والسخرية[12].

استوظف نوبل كينسكي، لكنها لم تخدم كسكرتيرة له إلا بضعة أيام، فرت بعدها لتتزوج من بارون شاب. لكنها ظلت مع ذلك على صداقتها بنوبل، وداومت على الكتابة له وزيارته. كانت كينسكي تعتنق مذهب السلمية ضد حمل السلاح، لكن نوبل كان ملحدا واشتراكيا وله نظرة أكثر محافظة تجاه البشرية. وعندما توفي أخوه نشرت إحدى الصحف بطريق الخطأ النص الذي كان ألفريد نوبل قد أعده لنفسه، وبعد أن قرأ النعي تيقن نوبل أن الناس سيتذكرونه كتاجر للموت، ولذلك فقد وضع أمام كينسكي تحديا «أن تخبره وتقنعه أن يفعل شيئا عظيما للحركة السلمية»[13].

ولابد أنها تجادلت جيدا معه لأنه كتب إليها في يناير التالي:

«إنني أود أن أخصص جزءا من ثروتي لتكون رصيدا لجائزة... تمنح للرجل أو المرأة الذي يطور فكرة السلام عموما في أوروبا أكثر من غيره...»[14].

وفي وصيته، وجَّه نوبل ممتلكاته بعد بعض من تذكر من الأقارب وآخرين

معهم لتستثمر في مواقع آمنة، على أن يوزع عائد هذا الاستثمار سنويا كالآتي:

«قسم يذهب إلى الشخص الذي سوف يقوم بأهم الاكتشافات أو الاختراعات في مجال الفيزياء.

وقسم يذهب إلى الشخص الذي سوف يقوم بأهم الاكتشافات الكيميائية أو أهم التحسينات.

وقسم يذهب إلى الشخص الذي سوف يقوم بأهم الاكتشافات في مجال الفسيولوجيا أو الطب.

وقسم يذهب إلى الشخص الذي سوف ينتج أكثر الأعمال الأدبية تميزا، وتكون ذات ميول مثالية.

وأخيرا، قسم يذهب إلى الشخص الذي سوف يساعد أكثر من غيره الأمم في إلغاء وإنقاص الجيوش وفي تكوين وزيادة أعداد مجالس السلام»[15].

ومع أن رغبة نوبل كانت «وضع هؤلاء الذين أظهرت أبحاثهم أنها واعدة في وضع يصبحون فيه مستقلين تماما، ويمكنهم تكريس كل طاقتهم لأبحاثهم»[16]، إلا أن الجائزة أصبحت ذات معان أبعد من ذلك. فالجائزة تعتبر اليوم قيمة الاعتراف بالإنسان وأعماله. وعلى الرغم من وجود شكوك حول بعض أحكام لجنة الجائزة على مر السنين ـ سببها قد يعود إلى التأثير السياسي أو الشخصي ـ إلا أن التاريخ أثبت أن الاختيار كان موفقا في أغلب الحالات.

ويلخص عرض سجل الحائزين للجائزة كلا من تطور الكيمياء والأوضاع السياسية في ذلك الحين.

كان أول الحائزين لجائزة نوبل في الكيمياء (1901) هو جاكوبوس فانت هوف، الطبيب البيطري الذي استطاع أن يتخيل الكربون المجسم (في ثلاثة أبعاد). وذهبت الجائزة الثانية إلى إميل فيشر، بطل تحليل وتعيين المنتجات الطبيعية، الذي كانت الجائزة تتويجا لأعماله ولكن ليس لحياته. فقد أقدم على الانتحار عندما قتل ثلاثة من أبنائه الأربعة في الحرب العالمية الأولى.

أما الفائز الثالث، فكان سفانتي أرهينيوس الذي حصل على الدكتوراه بصعوبة، وكان الرابع هو وليم رامزي مكتشف الهيليوم والنيون والأرجون والكربتون والزينون. وجاء الخامس أدولف فون باير، تتويجا لأعماله في مجال الكيمياء العضوية والتي تضمنت أبحاثه حول صبغة النيلة. وكان السادس هنري مويسان مكتشف الفلور. وجاء السابع إدوارد بوخنر الذي

حصل على الجائزة لأبحاثه على التخمر من دون الخلية. وكان باستير مقتنعا بأن التخمر يمكن أن يحدث فقط في جو خال من الأكسجين، إلا أن بوخنر تمكن من إثبات حدوث التخمر خارج الخلية وذلك بطحن الخلايا مع الرمل وإمرار الجميع خلال مكبس هيدروليكي. وقد أحدث العصير الناتج «عصير الخميرة» التخمر، مما يعتبر أول عملية لبدء الحياة في أنبوب الاختبار. كان خدم بوخنر متجهمين نظرا لمجهوداته غير المثمرة ومضيعته للوقت. لكن في الواقع، كان تطوعه ضابطا في صفوف الجيش الألماني في أثناء الحرب العالمية الأولى وموته متأثرا بجرحه هو الشيء غير المثمر والمضيّع للوقت.

حصل إرنست رذرفورد على الجائزة الثامنة لأبحاثه حول تركيب الذرة. ومع أن أبحاثه تعتبر اليوم من عالم الفيزياء، إلا أن منحه الجائزة في الكيمياء يؤكد تشابك هذين المجالين فلا يمكن للكيمياء أن تتقدم من دون الفيزياء، إلا أننا نتجرأ ونقول إن الفيزياء بدورها لا يمكن أن تتقدم من دون الكيميائيين. حصل ويلهلم أزوالد على الجائزة التاسعة على أبحاثه في مجال الكيمياء الفيزيائية، حيث أصبح هذا الفرع الذي يدرس منطقة الحدود بين الفيزياء والكيمياء معروفا. وحاز أوتو والاشي، وهو خريج آخر في معامل كيكولي، الجائزة العاشرة على أبحاثه في الكيمياء العضوية، وأساسا على توضيحه بنية الزيوت البنائية، التربينات. وذهبت الجائزة الحادية عشرة إلى ماري كوري لأبحاثها الكيميائية على البولونيوم والراديوم، وكانت قد حصلت قبل ذلك على جائزة نوبل في الفيزياء 1903، هي وزوجها وهنري بيكيريل لأبحاثهم على العناصر المشعة أما الجائزة الثانية عشرة فقد قدمت لفيكتور جرينيارد على أبحاثه في المواد العضوية الفلزية، وقدمت الجائزة الثالثة عشرة إلى بول ساباتير لإسهاماته في الكيمياء الحفزية العضوية، وعلى وجه الخصوص إضافة الهيدروجين إلى المركبات غير المشبعة، وهي من العمليات التخليقية والصناعية المهمة. ذهبت الجائزة الرابعة عشرة إلى ألفريد فرنر على أبحاثه حول بنية وأربطة المتراكبات غير العضوية. وعندئذ قامت الحرب العالمية الأولى 1914.

الحرب العالمية الأولى

توقعت إيلين سوالو ريتشاردز أن يواجه المجتمع الذي يتحول بسرعة إلى

التحضر مشاكل ـ صحية سوف تترجم بسهولة إلى مشاكل اجتماعية، وكانت على حق ربما بشكل غير مسبوق. كان هدير الجماهير (الزيادة السكانية المتفجرة) هو علامة التقدم الذي أحدثته كيمياء الفحم: كان تعداد السكان في أوروبا في بداية القرن التاسع عشر 50 مليونا تقريبا، وبحلول العام 1820، أصبح هذا العدد 100 مليون، وفي العام 1924 كان قد وصل إلى 300 مليون. وقد صاحب الزيادة السكانية زيادة موازية في الإنتاج، ومع زيادة الإنتاج ظهرت الحاجة إلى مصادر جديدة للمواد الخام وإلى أسواق جديدة. ونتيجة لذلك أصبحت نهاية القرن التاسع عشر هي سنوات الاستعمار.

انتشرت المعرفة التقنية الأوروبية نتيجة للاستعمار. وستعود الهند إلى التيار الأساسي للكيمياء ، كما ستفعل ذلك الصين وأفريقيا والأمم الإسلامية والعربية. وعلى سبيل المثال، تقبلت اليابان الطب الأوروبي والكيمياء ، وقامت بتطويرهما بإصرار. وقد تمكن الباحثون اليابانيون، في أواخر القرن التاسع عشر، من فصل الكائن الدقيق المسؤول عن الطاعون، والكائن الدقيق المسؤول عن الدوسنتاريا، وهما أكثر الأمراض فتكا بالإنسان على مدى التاريخ، وعزلوا الأدرينالين في بداية القرن العشرين على شكل صورة متبلرة، وراقبوا أول حالة سرطان استحثت تجريبيا (في الواقع، كان الذي استحثها هو قطران الفحم).

ولسوء الحظ، كانت إحدى نتائج الاستعمار هي الحرب العالمية الأولى.

في البداية كانت ألمانيا تبدو كأنها منتصرة بسهولة، ولها ركنها الخاص في الصناعة والخامات. لكن إنجلترا وفرنسا كانتا تتموان بنشاط أخاذ. فمثلا كان الأسيتون مكونا أساسيا في تحضير المسحوق عديم الدخان، وعندما تزايد الطلب في إنجلترا على هذا المركب ظهر حاييم وايزمان ليلبي هذا الطلب، وهو مهاجر من مجتمع اليهود في روسيا، الذي كان يطلق عليه حظيرة الاستيطان.

كانت الأعوام 1848 ـ 1914 فترة اندماج المواطنين اليهود في المجتمع الأوروبي، وبدأت كل الحكومات الأوروبية في منح بعض الحقوق للمواطنين اليهود ما عدا حكومة روسيا. وكان السفر إلى الخارج ـ خارج حظيرة الاستيطان في روسيا ـ والالتحاق بالجامعات يخضعان لقيود شديدة. وفي

سن الثامنة عشرة حصل وايزمان على عمل فوق سفينة لنقل الأخشــاب، وذلـك ليتمكن مـن الهـرب مـن روسـيا (لـم تكن جوازات السفـر مطلوبـة للسـفر عبـر أوروبـا خـارج روسـيا وتركيـا قـبل سـنـة 1914)[17]، لكنه كان يعود كثيرا إلى روسيا . وكانت دعوى الصهيونية تجذبه بشدة، فاستقر في لندن، حيث بدأت تظهر مواهبه الكيميائية التي اعترف بها بيركين الغنـي والمتقاعد في ذلك الوقت. وفي مانشستر، وتحت رعاية بيركين، طور وايزمان عملية تخمير تنتج الأسيتون. ونتيجة لذلك، عين مديراً للبحوث الكيميائية في الأدميرالية البريطانية. واعـترافا بمسـاهـمات وايـزمـان، أصـدر لـورد البحرية البريطانية الأول، بلفور، تصريحا يعد فيه بمنح اليهود وطنا قوميا في فلسطين. وستتسبب الصياغة الغامضة لكلمة «وطن» في مشاكل جسيمة لإنجلترا والعالم، إلا أنه في العام 1948، أصبح حاييم وايـزمـان أول رئـيس جمهورية لدولة إسرائيل ـ الدولة التي لولا جهوده ربما لم تكن لتقـوم لـهـا قائمة.

ومع زحف الحرب العالمية الأولى واستمرارها، بدأت جميـع الأطـراف تعاني نقصا في المواد. وعندما اشتد الحصار الإنجليزي بدأت ألمانيا فـي إنتاج البدائل، مثل المطاط الصناعي. وعندما منع عنها خام النـتـرات مـن شيلي، تحولت ألمانيا إلى طريقة تخليقية جديدة لتحضير الأمونيا تعتـمـد على النيتروجين المستخلص من الهواء. وكان صاحب هذه الطريقة فريتس هابر يعمل مدرسا في مدرسة تقنية قبل الحرب، وقد عاونه حصوله على منحة مـن البـاسـف BASF. وقد اكتشف أنه يمـكـن أن يـتـحـد النـيـتـروجـين والهيدروجين تحت ضغط مرتفع باستخدام الحديد كمحفز لإنتاج الأمونيا. وطور هابر الطريقة المعملية لتصبح صالحة للمصانع بمساعدة المهـنـدس الكيميائي كارل بوشي. وكان قد سبق هذا الحادث بسنتين اكتشاف ويلهلم أوزوالد للظروف المناسبة لتفاعل الهواء والماء مع الأمونيا لتكويـن حـمـض النيتريك المطلوب لصناعة المتفجرات. وهكذا، أصبـحـت ألمـانـيـا لا تـعـتـمـد على النترات المستوردة في وقت مناسب جدا لتبدأ الحرب العالمية الأولى. وقد كوفئ هابر على ذلك بتقلد منصب مدير معهد القـيـصـر ويـلـهـلـم فـي برلين. وكوطني متحمس، لم تكن تلك هـي إسهاماته الوحيدة فـي المجـهـود الحربي، فقد بدأ في دراسة إمكان استخدام الغازات الكيميائية في الحرب.

الحرب الكيميائية

قوبل اقتراح هابر في البداية بمعارضة من رجال الحرب التقليديين، لكن مع استمرار الحرب اكتسب الاقتراح موافقة مصحوبة بالتذمر. وقد استخدم غاز الكلور في أول هجوم كيميائى بواسطة الألمان في 22 أبريل 1915، أثناء موقعة إبريس في شمال فرنسا، وشاهدها هابر بنفسه.

وضعت عبوات الكلور المعبأة في مصانع فاربن.I.G. في الخنادق، وغطيت بأكياس من نسيج نباتي نصف متفحم مشربة في محلول البوتاسا الكاوية لتمتص أي تسرب للغاز. كان مقدرا للهجوم أن يبدأ قبل ذلك التاريخ، غير أن الرياح لم تكن مواتية. وعندما أصبح اتجاه الريح مواتيا أطلق القناصة النار على العبوات، فانبعثت سحابة كثيفة خضراء اللون أخذت تزحف من الخطوط الألمانية تجاه الأعداء.

كان الألمان يواجهون القوات الفرنسية والإنجليزية والكندية، لكن كما كانت عليه الحال في معظم القوات المتحاربة في الحرب العالمية الأولى، لم تكن هذه القوات من الجنود المحترفين، بل من المجندين حديثا، ومن المتطوعين والموسميين. وقد كتب أحدهم:

ألقتنا المفاجأة والفضول على الأرض بشدة، ولم يكن أحد منا يعرف ما الذي يدور بالضبط. كانت سحابة الدخان تزداد كثافة، مما جعلنا نعتقد أن هناك حريقا في الخنادق الألمانية [(18)].

أصاب الغاز أول الأمر فريقا من الزواف، وهي قبائل أفريقية من أفريقيا الفرنسية. وقد وصف الكابتن بولارد الوضع:

سقط المئات منهم، وماتوا أثناء ركضهم الأعمى في سحابة الغاز، وقد أطبق على صدورهم... بينما رقد آخرون عاجزين عن أي شيء، مصابين بنوبات من القيء على فترات قصيرة وماتوا بعد ذلك... [(19)].

تحرك الجنود الألمان خلف السحابة شاهرين حرابهم المثبتة على البنادق إلى أن تقابلوا مع الغاز الذي أطلقوه ومع الكنديين. ردت الكتيبة الكندية الأولى الألمان على أعقابهم، ولم يتلق الألمان أي تعزيز وقتها. وفي النهاية، لم تحسم المعركة - إلا بالنسبة لمن ماتوا - غير أن السابقة قد حدثت بالفعل.

كانت الكيمياء وليدة الحرب في مرات كثيرة. وقد تركزت جهود الكثير من الكيميائيين على غازات القتال - لإيجاد الأشرس أو لاكتشاف ترياق

ضدها. وقد اختار الفرنسيون الفوسجين ليحل محل الكلور، وهو مركب مكلور مثير للجهاز التنفسي بقسوة، ويحدث أضرارا بالغة واحتقانا بالرئتين، وذلك في فيردون في فبراير 1916. وقد رد الألمان في يوليو 1917 بغاز كبريتيد ثنائي كلورو ثنائي الإيثيل، أو غاز الخردل الذي يسبب القروح والبثور ويهاجم كلا من الجلد والرئتين، ولا تنفع معه أقنعة الغازات (الكمامات) الواقية. وفي المرة الأولى اعتقد الجنود خطأ أن الغاز لن يؤثر في العينين، لذلك استخدموا مواسك لإغلاق الأنف، وقطعا من القماش لوقاية الفم، إلا أنهم وجدوا أنفسهم قد أصيبوا بالعمى وبتقرحات شديدة تحت الإبط وبين الساقين. تسبب القروح الداخلية الانتفاخ والورم ، وهي أشياء في خطورة القتل: فالإصابات لم تكن تشل الجنود فقط، ولكنها كانت تجعل الأشخاص المسؤولين عن النقل والعلاج غير قادرين. ظهرت موجات احتجاج عنيفة أثناء الحرب وبعدها ضد استخدام الغازات السامة. وقد أقدمت زوجة هابر الأولى ـ وهي كيميائية أيضا ـ على الانتحار سنة 1915، احتجاجا على استخدام الغازات السامة. غير أنه لا يمكن أن نلوم هابر على أنه أصل الحرب الكيميائية. فبشكل أو بآخر، يمكن اعتبار كل الحروب كيميائية بدءا من قذف الصخور ـ فقد كانت بعض الصخور أفضل من البعض الآخر كيميائيا ـ وتطوير مسحوق البارود والمخاليط الحارقة، كلها أمور كيميائية. ولم يكن هابر هو أول من فكر في غازات القتال، فقد اقترح البريطانيون استخدام أبخرة الكبريت الضارة في الحرب، إلا أنه لا توجد شواهد على استخدامهم الفعلي لها. وفي فرنسا، طورت بنادق وقنابل يدوية للغاز المسيل للدموع لاستخدامها ضد مثيري الشغب وقد استخدمت بالفعل.

حصل هابر سنة 1919 على جائزة نوبل في الكيمياء اعترافا بأبحاثه لتصنيع الأمونيا. قوبل هذا المنح بمعارضة شديدة، لكن لم تثر قضايا جرائم حرب ضد هابر. غير أنه في الحرب العالمية الأولى، كما في الحروب الأخرى، يجري تضخيم جرائم الحرب. فهناك معارك تركت خلفها 150 ألف قتيل، كما لو أن مدنا بأكملها ـ بنسائها ورجالها وأطفالها ـ قد ذهبت إلى النار. كان الخراب والدمار الذي خلفته الحرب في أوروبا من الضخامة بحيث قضى على عصر التفوق الأوروبي. ظلت الأمم الأوروبية مهمة، لكنها

كانت غارقة في الديون مشلولة ومنهارة في معنوياتها وأخلاقها. وتبعا للبند 297 من معاهدة فرساي، فقدت ألمانيا معظم اختراعاتها الكيميائية (مثل الأسبرين)، وقد أدى هذا التبادل التكنولوجي القسرى إلى إعادة توزيع للثروة، إلا إنه لم يكن هناك سوى القليل ليعاد توزيعه. ولم تقاس الولايات المتحدة إلا القليل على خلاف حلفائها في الحرب. انتقل مركز المعاملات المالية من لندن إلى نيويورك، حيث سنبدأ الفصل القادم من تاريخ الكيمياء.

وسيبين الفصل القادم انتقال التركيز أيضا من النجاح العملي للكيمياء إلى المسائل النظرية المتبقية. وكان أهم هذه المسائل النظرية هو الميل الكيميائي. فقد تم تفسير الميل الكيميائي منذ أيام بيرزيليوس على أنه تجاذب كهربي بسيط، غير أن هذا النموذج لا يعمل بكفاءة إلا في عدد محدود من الحالات. فهو لا يفسر ارتباط العناصر المتشابهة. أما نظريات التكافؤ لكيكولي فيرنر فكانت تهتم بالتجاذب بين العناصر المتعادلة، غير أنها كانت مشاهدات أولية من دون أسس نظرية. لكن الأمر تغير بعد الحرب العالمية الأولى، فقد شهد عالم ما بعد الحرب ظهور فكرة الأربطة.


القسم الثالث

15

حوالى ١٩١٤ ـ ١٩٥٠ الكيمياء الكمية: جوف الحيوان

لم يكن في حوزة الكيميائيين سوى الديناميكا الحرارية كأساس نظري مع حلول القرن العشرين، وما عدا ذلك فقد كانوا كالمهرج في السيرك الذي يطير بواسطة سراويله. وأثبت التقدم الذي تم إحرازه في الصناعة والطب بجلاء فضل الأبحاث الكيميائية. غير أن البحث كان مبنيا على أساس فن الكيمياء: المعرفة بمقدرة العناصر على التفاعل سواء كعناصر مفردة أو في مجموعات، وامتلاك مخزون من التقنيات للتوصل إلى النتيجة المطلوبة. ومع أنه لايجوز التقليل من أهمية هذه الأمور (فهي مازالت الأساس لبعض أفضل إنجازات الكيمياء حتى اليوم)، إلا أن الكيميائيين كانوا في حاجة لفهم أفضل للمبادىء الأساسية ـ نظرية الكيمياء ـ ليجعلوا من هذه الإبداعات الحدسية أمرا أفضل. وقد تمكنوا من الحصول على المطلوب بعد الحرب العالمية الأولى، وقفزت الكيمياء قفزة كمية quantum leap.

- نظرية الكم القديمة
- التأثير الكهروضوئي
- النظرية الكمية
- الميكانيكا الموجية
- الرباط الكيميائي
- كيمياء الكم

كانت الحاجة إلى تفسير الرباط غير القطبي هي أكبر المشاكل الضاغطة في النظرية الكيميائية. كان الكيميائيون يشعرون ببصيص من الفهم للأربطة القطبية ، أي تلك الأربطة التي تنشأ بين العناصر التي تفضل أن تكون مشحونة بكهربية موجبة والعناصر التي تفضل أن تكون مشحونة بكهربية سالبة . لكن لم يكن هناك أساس نظري لتفسير الأربطة التي تنشأ بين العناصر المتماثلة (مثل نواتي ذرتي هيدروجين في غاز الهيدروجين) أو بين عناصر لها طبيعة كهربية متماثلة (مثل الكربون والهيدروجين) وهي الأربطة غير القطبية . و قدجاءت أول خطوة تجاه التفسير الكمي للترابط من أستاذ للكيمياء في جامعة كاليفورنيا -بير كلي ـ ج.ن.لويس.

جلبرت نيوتن لويس

ولد لويس في العقد الثامن من القرن التاسع عشر في نيوإنجلاند وتربى في نبراسكا وتلقى تعليمه الأولي في المنزل على يدي والديه، وكان سابقا لسنه، فتعلم القراءة في سن الثالثة. وعلى كل الأحوال فقد كان موهوبا للدرجة التي سمحت له بالسفر إلى ألمانيا ليبدأ في تعلم الكيمياء. وبدأ أبحاثة لنيل درجة الدكتوراه في هارفارد، وهو لايزال في بداية العشرينيات من عمره. وبينما كان يقوم بالتدريس للطلاب (كما كان يفعل طلاب الدكتوراه)، لاحظ لويس أن العناصر التي بها أعداد معينة من الإلكترونات يبدو أنها تتمتع بحالة استقرار خاصة.

وكان موسلي وبوهر قد بينا أن الذرة المتعادلة لكل عنصر تمتلك إلكترونا أكثر من الذرة السابقة لها؛ فمثلا لذرة الهيدروجين إلكترون واحد بينما لذرة الهيليوم إلكترونان، ولليثيوم ثلاثة، وهكذا. ولاحظ لويس أن العنصر الأول ـ الهيدروجين ـ الذي له إلكترون واحد نشط، لكن العنصر الثاني ـ الهيليوم ـ غاز نبيل وخامل . وبعد الهليوم يتطلب الأمر إضافة ثمانية إلكترونات أخرى للحصول على غاز نبيل آخر (النيون يملك 2+8 إلكترونات) . وبعد ذلك يتطلب الأمر إضافة ثمانية إلكترونات أخرى (الأرجون له 2+8+8 إلكترونات). وقد بدا للويس أنه بمجرد تكون قلب من ثمانية إلكترونات حول النواة فإن طبقة ممتلئة تكون قد تكونت وتبدأ بعدها طبقة جديدة في الامتلاء. ولاحظ لويس كذلك أن الأيونات المختلفة التي تملك ثمانية

إلكترونات تبدو في حالة استقرار خاصة، ولذا فقد اقترح قاعدة الثمانيات: فتتمتع الذرات أو الأيونات التي لها طبقة ممتلئة بثمانية إلكترونات بحالة خاصة من الاستقرار.

وحيث إن للمكعب ثمانية أركان،فقد تصور لويس الذرة وكأن لها ثمانية مواقع متاحة للإلكترونات مثل أركان المكعب (انظر الشكل1 :15). وبمجرد امتلاء أركان المكعب، كان على المكعب التالي أن يبدأ في الامتلاء . واقترح لويس أخيرا أن الذرة تميل لتكوين أيون باكتساب أو فقد عدد من الإلكترونات يحقق امتلاء المكعب . فالكلور مثلا له سبعة إلكترونات في مكعبه، ويميل لاكتساب إلكترون آخر ليصبح سالب الشحنة. وللماغنيسيوم إلكترونان خارجيان فقط ، فيفقدهما ويصبح موجب الشحنة. كان النموذج بداية جيدة في اتجاه تفسير الشحنات على الأيونات وحالة الاستقرار في الغازات النبيلة، لكن معلمه في هارفارد لم يتحمس للفكرة. ولم يكن لويس يستطيع أن يطور أفكاره ويعرضها من دون مساندة، الأمر الذي جعل ظهور هذه الأفكار على السطح مرة أخرى يتطلب 12 عاما كاملة.

الشكل (1 : 15) رسم كروكي من مذكرات لويس 1902، يبين الترتيب المحتمل للإلكترونات في الذرة على شكل مكعب. (إهداء من مكتبة جون ف. كنيدي، جامعة كاليفورنيا الحكومية، لوس أنجلوس)

وبعد عشرة أعوام، قدمت جامعة كاليفورنيا في بيركلي كرسي كلية الكيمياء للويس. وقد يبدو ذلك أمرا متكلفا في العظمة، لكن كان القسم في ذلك الوقت ينحدر، لذا أصبح من مهام لويس إعادة بنائه ومنحت الجامعة لويس الميزانية اللازمة وأطلقت يده، فاستعان بفريق من المعلمين ذوي الخبرة الذين بدأوا في بناء القسم الذي استطاع أن يخرج جيلا عالمي المستوى من الكيميائيين .

وأثناء هذه الفترة ، كان أحد طلاب الدراسات العليا في زيارة لبيركلي لمدة عام ، وهو الإنجليزي ألفريد بارسون. كتب بارسون مخطوطة يقول فيها إن الرباط الكيميائي ينتج من اقتسام إلكترونين بين ذرتين. قرأ لويس هذه المخطوطة فوقعت أفكاره في مكانها تماما : يحدث الربط عندما يكون إلكترونيان حافة مشتركة بين مكعبين مكتملين. وفي 1916 نشر لويس نظرية مكتملة تماما مبنية على أساس الذرة المكعب ، كما كان يطلق عليها في مذكراته العام 1902.

لاشك في أن لويس قد استقى بعض أفكاره من بارسون ، حيث إنه من النادر أن تولد الأفكار من فراغ. وقبل أن ينشر لويس نظريته بشهر واحد، كان والتر كوسيل من ألمانيا قد نشر مقالا يفترض فيه أن الذرات تكتسب أو تفقد إلكترونات لتصل بعدد إلكتروناتها إلى العدد الموجود في ذرة الغاز النبيل، غير أن لويس لم يكن يعرف عن هذا البحث شيئا أثناء إعداده لمخطوطته. وقد قامت النظرية بين أيدي لويس بأكثر من مجرد تفسير تكون الأيونات أو الأربطة الأيونية ، فقد أصبحت التفسير العقلاني للأربطة غير القطبية.

لم يكن لويس نشطا في الاتصال بالآخرين (كان يتجنب إلقاء المحاضرات للقلق الذي كان ينتابه عند مواجهة الجموع)، وبدا أن نظرية الذرة المكعب في طريقها للاضمحلال والزوال. ثم اعترضت الحرب طريق الأحداث، وسافر لويس إلى فرنسا في رتبة ماجور في الحرب الكيميائية.

وفي السنة 1919 تولى إيرفنج لانجمير (الذي كان مشهورا وقتها كما سنرى فيما بعد) الأفكار حول الذرة المكعب والرباط الذي يتكون من اقتسام إلكترونين وأخذ يتحدث بها وينشر عنها في كل مكان .

كان لانجمير جيد الصلة بالناس للدرجة التي أصبحت فيها النظرية

تعرف باسم نظرية لويس ـ لانجمير أو مجرد نظرية لانجمير. ومع أن لانجمير كان قد أضاف إلى للنظرية مما قوى من مفهوم الرباط غير القطبي الذي أسماه الرباط التساهمي (مقابل الأيوني) إلا أنه كان دائم الترديد والإشارة إلى مصدر الأفكار الأصلي. غير أن لويس مع ذلك كان ممتعضا. (كان لويس فيما بعد يبدو شخصا لايتسم بصفة العفو؛ ففي السنوات التالية رفض درجة شرفية من جامعة هارفارد محتفظا في دخيلة نفسه بالاستياء من معلمه السابق) . لكن لويس في النهاية شكر لانجمير ومساهماته وظل الاثنان صديقين كان لويس فوق ذلك ذا روح ثورية، وكان يستمتع بقلب الأمور المستقرة رأسا على عقب. (كان من المعروف أنه عندما يمر بجوار لافتة «ممنوع التدخين» في المعمل يقوم بإخفاء سيجاره الذي لايفارقه خلف ظهره)[1]. وإذا كان لانجمير قد حمل هذه الثورة ودفعها للأمام ، فقد جاء أمرا جيدا. وعلى أي حال كان مقدرا لهذه الأفكار أن تصبح ملكا لجماهير الكيميائيين.

اتضح أن رباط زوج الإلكترونات المقتسم له فوائد عريضة. فمن الممكن الآن تفسير التفاعلات العضوية على أساس إزاحة أزواج الإلكترونات. كما أن سلوك الأحماض والقواعد يمكن أن يفهم في ضوء الحاجة إلى ملء الثمانيات . كذلك يمكن إدراك البنية غير العضوية والتنبؤ بها على أساس اكتفاء الثمانيات والأربطة ذات الإلكترونين. وأهم ميراث لفائدة نموذج لويس أنه ما زال يستخدم في التدريس حتى الآن كأفضل طريقة لتصور البنيات البسيطة والترابط، إلا أن أركان المكعب استبدلت بثماني نقاط توضع حول رمز العنصر.

كانت هناك بعض المشاكل في المعالجة الأصلية للنظرية. فقد كان معروفا أن جزيئات النيتروجين تتكون من ذرتين (N2)، لكن هناك خمسة إلكترونات فقط في الغلاف الخارجي لذرة النيتروجين، ولاتوجد طريقة واضحة تستطيع أن تكون مكعبين من عشرة إلكترونات. وكان نموذج لويس استاتيكيا فوق ذلك ، يتطلب أن تكون الإلكترونات مستقرة، الأمر الذي لم يتفق مع النظريات القادمة من أوروبا في ذلك الوقت. تخلى لانجمير عن النظرية في العشرينيات ربما لأنه استطاع أن يتنبأ بالمستقبل. واستمر لويس في تأييده لفكرة الإلكترونات الساكنة الإستاتيكية، لكن الإلكترونات لم تظل

على ذلك كثيرا.

نظرية الكم القديمة

تطورت النظرية التي قضت على الإلكترونات الاستاتيكية الساكنة ـ والتي عرفت أخيرا باسم ميكانيكا الكم Quantum Mechanics ـ لأن الفيزيائيين فكروا في أنه ينبغي عليهم معرفة المزيد عن الضوء. وفي الحقيقة كانوا بالفعل قد عرفوا الكثير؛ فمثلا كانوا قد فهموا أن الضوء يسلك مثل الموجات، فالموجات تنثني حول العوائق في طريقها، (يؤكد ذلك قضاء يوم على الشاطئ في مراقبة سلوك الموجات)، وتتداخل الموجات مع بعضها : فإذا كانت الموجات غير متوافقة فإنها ستبطل بعضها بعضا تاركة هدوءا في مكانها، أما إذا كانت الموجات متوافقة فإنها ستتحد لتشكل موجات أكبر. وهو ما يفعله الضوء أيضا. فالموجات المتوافقة من الضوء والساقطة من خلال ثقوب متوازية تشكل نسقا من دوائر متحدة المركز من الاستضاءة والظلمة تسمى نسق التداخل.

ولم يكن معروفا من أي شيء تتكون هذه الموجات حتى ظهور أبحاث جيمس كلارك ماكسويل. بيّن ماكسويل أن الشحنة الكهربية المتحركة تولد مجالا مغناطيسيا ، وأن المجال المغناطيسي يولد مجالا كهربيا معاكسا. ويولد المجال الكهربي المعاكس مجالا مغناطيسيا معاكسا، وهكذا، بحيث يدفع كل مجال المجال الآخر خارج طريقه وعندما قام ماكسويل بحساب السرعة التي يتحدث بها ذلك وجدها السرعة المعروفة للضوء. ولابد، عندئذ، قال شيئا يشبه «آه». لقد اكتشف لتوه أن الضوء عبارة عن ذبذبات لموجات كهرومغناطيسية.

وهناك رواية تحكى عن ماكسويل في ذلك الوقت، فقد كان منهمكا في مغازلة زوجته في مساء اليوم الذي توصل فيه إلى استنتاجاته. كانا يحدقان في النجوم، عندما سألها عن شعورها لو عرفت أنها ثاني إنسان في الوجود يفهم الطبيعة الحقيقية لضوء النجوم. وقد تكون هذه الرواية قد صيغت بشكل أكثر رومانسية عن الحدث نفسه، ولأننا نعلم أن زوجة ماكسويل عملت معه بعد ذلك في تجاربه، فإننا لانشك في أنها قد ناقشت هذا الاستنتاج المهم معه وقد تم التحقق من استنتاج ماكسويل تجريبيا بواسطة

هينريش هيرتز فيما بعد (بعد موت ماكسويل في سن مبكرة). فقد بين هيرتز أن شرارة بين كرتين مشحونتين تقدح شرارة أخرى بين كرتين مماثلتين على مسافة بعيدة وذلك عن طريق إرسال موجة كهرو مغناطيسية (الأمر الذي أصبح أساس تكنولوجيا الراديو). طور هيرتز تجربته فأثبت أن الشرارة تحدث بطريقة أسهل لو كانت الكرات معرضة للأشعة فوق البنفسجية. لم يكن هيرتز يملك تفسيرا لما حدث في ذلك الوقت ، لكننا سنورد التفسير حالا.

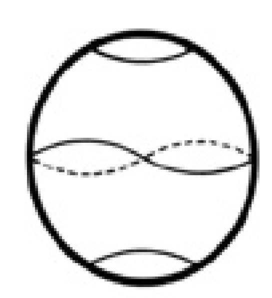
عندما يجد الفيزيائيون تفسيرا لاحدى المعضلات، فإنهم يبدأون البحث عن حل لمشكلة أخرى: وكانت المشكلة هذه المرة هي الإشعاع الصادر من تركيبة غريبة تسمى «الجسم الأسود ». ويطلق عليه هذا الاسم لأنه إسفنجة مثالية للضوء: فهو يمتص كل أطوال موجات الضوء، ولذلك يبدو أسود اللون . والجسم الأسود تركيبة تخيلية، ويماثل تجويفا ذا ثقب ضيق، فإذا وقع أي ضوء على الثقب فإنه ينثني حول الثقب وهو يدخل التجويف مع احتمال ضئيل أن يتمكن من الهرب منه. ولأن الجسم الأسود يمتص كل الضوء فإنه لابد أن يعيد بث كل أطوال موجات الضوء إذا سخن (مثلما يتوهج الموقد الساخن عند اشتعاله) وقد مثَّل التجريبيون الجسم الأسود بتجويف (لا تؤثر المادة المصنوع منها في الجسم الأسود)، قاموا بتسخينه وقياس الضوء المنبعث منه. وقد اكتشفوا أن كل المنبعث من الطاقة يأتي في جميع أطوال الموجات ـ ويسمى كثافة الطاقة ـ ويزداد مع ازدياد تسخين التجويف ، غير أن معظم الضوء المنبعث كان في المدى المرئي وتحت الحمراء ـ ولايوجد الكثير في المدى الأقصر الخاص بالأشعة فوق البنفسجية . كانت المشكلة تكمن في أن أفضل النماذج الفيزيائية وقتها كانت تتنبأ باستمرار زيادة كثافة الطاقة عند أطوال الموجات الأقصر ـ ونظريا يمكن أن يستمر ذلك إلى مالانهاية.

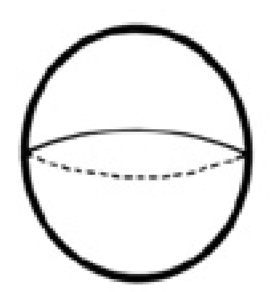
ولتفسير تنبؤ النماذج الفيزيائية باستمرار زيادة كثافة الطاقة، لنتخيل أولا طفلا على أرجوحة. فإذا دفعت الأرجوحة لأسفل في أثناء حركتها لأسفل (حركة متوافقة مع الأرجوحة) فإن الطاقة التي بذلتها ستضاف إلى طاقة الأرجوحة. أما إذا دفعت الأرجوحة لأسفل في أثناء حركتها لأعلى (حركة غير متوافقة مع الأرجوحة)، فإن الناتج سيكون تصادما مع تلاشي

الطاقة والآن لنأخذ حبلا فعندما (تطرقع) بالحبل (مثل الهبوط) ستتكون موجة تنتقل إلى نهاية الحبل لتتلاشى على شكل فرقعة (طرقعة). أما إذا كان طرف الحبل مربوطا إلى الحائط، فإن الطاقة ستنعكس عندما تصل الموجة إلى الحائط، فإذا كان الحبل في النقطة التي تصل فيها الموجة إلى الحائط في أقل نقطة (متوافقا مع موجة الحبل) فإن الطاقة ستنعكس بشكل هادئ لتضاف إلى حركة الحبل . أما إذا كان الحبل عند نقطة ما في وسط الموجة عندما تصل هذه الموجة إلى الحائط، فإن الطاقة المنعكسة ستكون غير متوافقة وستقاوم حركة الحبل مما سيقلل من طاقة الموجة التي بدورها ستحطم نفسها.

الأمر إذن يتعلق بالضوء في الإناء. فإذا كانت موجة الضوء تناسب في طولها بالضبط قطر الإناء، فإنها ستنعكس بهدوء على جميع الجدران لتكون موجة ساكنة. ويحدث ذلك عندما تكون المسافة بين الجدران بالضبط مساوية لنصف طول موجة الضوء أو طول موجة الضوء أو مرة ونصف طول موجة الضوء أو مرتين: أي مضاعفات نصف طول الموجة، ما دامت الموجات مكتملة عندما تصطدم بالجدار. والآن لنأخذ تجويفا لجسم أسود على شكل دائرة مسطحة تتعامل فقط مع الموجات الأفقية (نموذج بسيط لكنه لايمثل الواقع كثيرا). فإذا كان قطر الدائرة في طول نصف الموجة فسيكون هناك وضع واحد فقط داخل الدائرة يمكن أن تتكون منه الموجة الساكنة: مرور الضوء مباشرة بمركز الدائرة. أما الموجات التي ستنحرف جانبا ولو قليلا فلن تنجو. فإذا كان قطر الدائرة مماثلا لطول موجة كاملة فسيكون هناك ثلاثة أوضاع تؤدي إلى تكون الموجات الساكنة: مرور الموجة مباشرة بالمركز، وكذلك في وضع قرب القمة ووضع آخر قرب القاع يتصفان بالمسافة بين نقطتي المحيط مساوية لنصف طول الموجة. أما إذا كان قطر الدائرة مساويا لطول موجتين فستكون هناك سبعة أوضاع ممكنة لتكون الموجات الساكنة، وهكذا. (انظر الشكل 15:2). ويمكن التحقق من أنه كلما ازداد طول الموجة قصرا، ازداد عدد الموجات التي تقطع المسافة بين جدران الدائرة. وكلما قصر طول الموجة ازداد عدد الموجات الساكنة الممكنة. وبذلك إذا كان تسخين التجويف يكون موجات ساكنة، والمزيد من الموجات الساكنة لأطوال الموجات الأقصر، فإن الكثافة الكلية للطاقة لابد أن تحتوي على

إشعاعات ذات موجات أقصر أكثر من الموجات الأطول. لكن التجربة بينت غير ذلك : فكمية الإشعاع في المجال فوق البنفسجي (الموجات القصيرة) تبدأ في النقصان . وقد أطلق على هذه المعضلة «كارثة الأشعة فوق البنفسجية». وقد حاول الكثيرون من الفيزيائيين المرموقين ـ في ذلك الوقت ـ حل مشكلة الجسم الأسود، غير أن الحل جاء من حيث لانتوقع، من أستاذ ألماني للفيزياء في منتصف الأربعينيات من عمره، اسمه ماكس بلانك.





الشكل (2 : 15) الموجات الأفقية الساكنة في تجويف دائري. إذا كان عرض الدائرة يساوي نصف طول الموجة، فستكون هناك موجة ساكنة واحدة. وإذا كان عرض الدائرة يساوي طول موجة كاملة، فستكون هناك ثلاث موجات ساكنة. وإذا كانت الدائرة عرضها مثل طولي موجة فسيكون هناك سبع موجات، وهكذا.

ماكس بلانك

لم يكن تاريخ حياة بلانك لامعا في البداية. فعندما قدم أطروحته لنيل درجة الدكتوراه، لم يقرأها أحد الممتحنين، واستنكر الممتحن الثاني ما جاء فيها، أما الممتحن الثالث فلم تصل إليه الرسالة. وقد تمكن أخيرا من استكمال المتطلبات، مع علمه بأن هذا الأمر لن يضمن وله وظيفة جيدة. وكانت مفاجأة للجميع عندما حصل على مكان في جامعة برلين. وفي الحقيقة، كان بولتزمان (المشهور بالميكانيكا الإحصائية) قد رفض لتوه هذا المكان.

كان بلانك على قناعة تامة بأن كل الظواهر الفيزيائية لابد أن تخضع في النهاية للتحليل. واختار أن يجري أبحاثه على مشكلة الجسم الأسود. وبدأ يهاجم المشكلة من وجهة نظر الديناميكا الحرارية التقليدية لأنه كان

يعرفها جيدا، بالإضافة إلى أن الميكانيكا الحرارية لاتفترض وجود الذرات (وكانت الذرات لا تزال موضع جدل بين الفيزيائيين في ذلك الوقت)، وكان بلانك يعرف إضافة حرارة إلى تجويف الجسم الأسود لابد أن تغير من الأنتروبيا لذلك حاول أن يجد تعبيرا لحساب الأنتروبيا بحيث تعطي قيما تنطبق مع القيم الملاحظة. لكن جهوده فشلت. وعندما أقدم بلانك على ما أسماه « خطوة يائسة»[2]. افترض أن طاقة الضوء ليست سيالا مستمرا، لكنها تأتي على شكل حزم أو دفعات تسمى «الكوانتا»، وأن حجم هذه الدفعات يصبح أكبر كلما قلَّ طول الموجة. وقد قام بمواءمة المنحنى ونجح في ذلك.

ونستطيع اليوم أن نشرح لماذا نجح نموذج بلانك « الكوانتا». فبالنسبة للكمية الكلية نفسها من الطاقة يوجد عدد أكبر من الموجات المثارة الأطول، لأن حجم الدفعات من الطاقة المسموح به صغير، ولذا يمكن أن يوجد الكثير منها. أما عند أطوال الموجات الأقصر، فإن حجم دفعات الطاقة المسموح به كبير، ولذا فإن عددا أقل منها هو الذي يثار بكمية الطاقة الكلية نفسها. ويروى أن بلانك كان يسير مع ابنه عندما قال له في ذلك اليوم إن فكرة قد جاءته تستحق نيوتن نفسه. ومع ذلك، وحتى لو فرضنا أن هذه الرواية صحيحة، فإن بلانك لم يكن يملك تفسيرا فيزيائيا لهذه الصياغة في ذلك الحين، وحتى عندما تقدم أحدهم بتفسير لذلك، فإن بلانك استغرق وقتا طويلا ليقبله. ولم يحل غياب التفسير دون أن يتقدم بلانك بفكرته إلى الجمعية الفيزيائية الألمانية، في اجتماعها يوم 19 أكتوبر سنة 1900، وبعد أن قدم بلانك أفكاره عمل المجتمعون طوال الليل ليختبروا قانون بلانك تجريبيا. وفي الصباح التالي قرر المجتمعون الموافقة على القانون.

وحاول بلانك أن يفسر المغزى الفيزيائي لتخمينه المحظوظ هذا، فرأى أن حزمات (حزم) أو دفعات الطاقة ما هي إلا تكيف مؤقت، وأن حجم هذه الدفعات يمكن أن يتناقص إلى أن يتلاشى ليترك المكان للفيزياء المستمرة الطيبة. لكن لم يكن مقدرا أن تكون الحال بهذا الشكل . فلم تختف الكوانتا بل على العكس أخذ أشخاص آخرون يجدون هذه الدفعات المزعجة في أماكن أخرى . وكان أول هؤلاء شخصا لايمكن أن تكون كلمته موضع شك. لكن لم يكن ألبرت أينشتاين في ذلك الوقت إلا خبيرا فنيا من الدرجة

الثالثة في مكتب براءات اختراع سويسري.

ألبرت أينشتاين

لم يكن أينشتاين يشبه كثيرا نجما صاعدا، فقد كان دائم الصدام مع المعلمين، ولذا لم يكمل تعليمه الثانوي. وقد التحق بمدرسة تقنية سويسرية لا تشترط الحصول على شهادة الثانوية، فالتحق بها. وقد تمكن فى النهاية من تحقيق متطلبات الدكتوراه، على الرغم من أنه كان قد فشل فى الالتحاق كطالب دكتوراه بضع مرات.

أتيحت لأينشتاين الفرصة ليفكر نظرا لكونه قد تزوج حديثا وكان يعمل مفتشا للاختراعات، وقد نشر نتائج ثلاثة اتجاهات فكرية مهمة سنة 1905، كانت تكفي أي واحدة منها لتصنع اسما علميا ذا سمعة. كان أولى هذه الأشياء أنه فكر فى أفضل طريقة حتى اليوم لإثبات وجود الذرات، فالجسيمات الدقيقة المعلقة في السوائل تمارس حركة دائمة تسمى «الحركةالبراونية»، والتي تمكن مشاهدتها تحت الميكروسكوب. طبق أينشتاين هذه الحركة على المستوى الجزيئي ليثبت أنها تنشأ عن صدمات الجزيئيات. أما الشيء الثاني فقد كانت نظريته عن النسبية. والشيء الثالث كان تفكيره في تفسير التأثير الكهروضوئي على أساس أفكار بلانك عن «الكوانتا».

التأثير الكهروضوئي

إذا سقط ضوء ذو تردد مناسب على فلزات معينة، فإنه قد يتسبب في سريان الإلكترونات من سطح الفلز، وتسمى هذه الظاهرة بالتأثير الكهروضوئي. وهي الطريقة التي تعمل بها العيون الكهربية المركبة على بعض الأبواب الأتوماتيكية: يولد شعاع الضوء تيارا كهربيا، فإذا مرَّ الناس من خلال الشعاع فإنهم يقطعون التيار. وهو التأثير نفسه الذي لاحظه هيرتز ، فالأشعة فوق البنفسجية تجعل الشرارة تقفز بطريقة أسهل، والشيء الغريب أن تردد الضوء لابد أن يزيد على قيمة معينة ليستطيع طرد الإلكترونات من الفلز. ولوكان سريان الإلكترونات يحدث بانتقال طاقة الضوء وبتسخين المواد لكان من الممكن لأي مصدر ضوئي أن ينتج الإلكترونات بشرط وجود عدد كاف منها لكن ثبت بالتجربة أن حزم

الضوء لابـد أن يكون لهـا تـردد يمثل عتبـة معينـة: كوانتـا ذات قيـمة دنيا من الطاقـة. وهـكـذا بيَّن هيرتـز دون أن يعـرف ـ أن الـضـوء يسـلك مثـل الجسيمات.

وقد تكون فكرة ازدواجية طبيعة الضوء ـ موجات وجسيمات ـ مشوشة في البداية 0 وفي ملاحظة مرجعها الفيزيائي إدنجتون، يجب أن نعامل الضوء كموجات أيام الاثنين والأربعاء والجمعة، ونعامله كجسيمات بقية أيام الأسبوع). غير أن الفكرة ليست حمقاء كما تبدو. الأمر يرجع إلى النموذج. فيمكن نمذجة الضوء كجسيمات أحيانا، وأحيانا كموجات، وبالمثل يمكن نمذجة الديناصور كطائر عندما نتحدث عن الأيض، أو كزرافة عندما ندرس فيزياء حركته . وفي الحقيقة فإن الديناصور ليسي هذا أوتلك، لكن لأننا لانملك ديناصورا نجري عليه التجارب ، فقد طورنا هذه النماذج. وهكذا الحال بالنسبة للضوء ونماذجه التي لابد أن ترتبط بعالمنا الماكروي (الكبير)، فنحن لانستطيع أن ننكمش إلى الحد الذي نجري فيه تجاربنا على المستوى الجزيئي. وبذلك فإن أفضل النماذج هي الموجات والجسيمات ، وتبعا للفرص فإن أحد هذين النموذجين سيقوم بالعمل.

لم يكن أينشتاين هو الوحيد الذي اكتشف فائدة مفهوم بلانك، فقد كان نيلز بور في صدام مع أستاذه طومسون حول النموذج المناسب للذرة، حيث كان طومسون متمسكا بنموذج كعكة الخوخ الخاص به، بينما كان بور يفضل نموذج الكواكب لرذرفورد. وأخيرا، اقترح طومسون على بور أن يلتحق بالعمل مع رذرفورد (الذي انتقل في ذلك الوقت إلى مانشستر) فأطاع بور الأمر[3].

نيلز بور

كان بور يشعر بشكل غريزي أن الطاقة المكنتمة التي قال عنها بلانك مرتبطة بالخطوط المنفصلة لطيف العناصر ـ و كذلك بالنموذج الكواكبي للذرة ـ لكنه لم يستطع كشف هذا الارتباط ، وقبل ذلك بثلاثين عاما ، كان جوهان جاكوب بالمر المعلم بمدرسة ثانوية للبنات، والمحاضر بجامعة بازل حيث قام باراسيلسوس بحرق أعمال جالينوس)، والرياضي الهاوي ، كان قد اكتشف علاقة رياضية بين ترددات خطوط طيف الهيدروجين. ولم تكن

العلاقة واضحة لأنها كانت تعتمد على معكوس مربعات الأعداد الصحيحية، وكانت هذه الخاصية هي التي جذبت انتباه بور. وقال فيما بعد: «بمجرد أن رأيت معادلة بالمر أصبح كل شيء واضحا بالنسبة لي»[4].

افترض بور أن هناك مدارات منفصلة مميزة ومعينة للألكترونات حول النواة ـ وأطلق عليها اسم الحالات المستقرة ـ وأنه للانتقال من حالة من هذه الحالات إلى حالة أخرى فإن على الذرة أن تمتص أو تشع حزمة من كمية مناسبة من الطاقة ـ الكوانتا . بدأ بور بعد ذلك في التنبؤ بموضع خطوط طيف الهيدروجين على أساس معادلة بالمر وحزم الطاقة التي قال عنها بلانك وكتلة وشحنة الإلكترون والمدارات المكنتمة التي اقترحها.

وتبعا لنظرية بور ، تعطي مدارات الإلكترونات ـ أو مستويات الطاقة ـ أرقاما تسمى الأرقام الكمية. وتعمل هذه الأرقام كعناوين للإلكترونات كما تعمل أسماء الشوارع بالنسبة لعناوين الناس. ويسمى أول هذه الأرقام الكمية باسم «الرقم الكمي الرئيسي»، ويمكن أن يتخذ الأعداد 1 , 2 , 3... أو أي رقم أكبر من الصفر. وتحدد هذه الأرقام الكمية الغلاف الذي يوجد به الإلكترون. فالإلكترون الذي رقمه الكمي الأساسي 2 يوجد في الغلاف الثاني، تماما كما لو كان منزل موجود في الشارع الثاني ، وقد وجد بور كذلك أن المدارات كانت تسلك كما لو كان لها كميات منفصلة من العزم الزاوي (القوة التي تمسك بالقمة التي تدور متجهة لأعلى دائما)، وقد أعطيت العزوم الزاوية للمدارات أرقاما كمية ثانوية، واستخدمت الحروف لهذه الأرقام الكمية حتى لا يختلط الأمر مع الأرقام الكمية الرئيسية. وأصبحت المدارات ذات العزوم الزاوية صفر و واحد واثنان وثلاثة معروفة بالحروف s r, d, , f كما في خطوط الطيف التي وصفها علماء الطيف السابقون بأسماء fine ,diffuse , principal ,sharp وكما في حال العناوين حيث يعطي اسم الشارع ورقم المنزل مثل 343 الشارع الثاني ، يمكن تحديد الإلكترون في المدار 2p، وقد يكون للمدارات عزم زاو = صفر (مدار كروي منتظم) ، غير أنه في حالات المدارات التي لها عزم زاو ، فإن هذا العزم الزاوي لابد أن يتداخل مع المجال المغناطيسي كما تتداخل قمة الشيء الدوّار مع مجال الجاذبية بتدوير المركز ببطء عندما يميل إلى أحد الجوانب. وفي العام 1920، تأكد بالتجربة أن الذرات التي لها عزم زاو تسلك بصورة

مختلفة في مجال مغناطيسي تبعا لوضع عزمها الزاوي بالنسبة للمجال المغناطيسي. الأمر الذي أوجد رقما كميا ثالثا. وتماما كما يحدد المقيمون في إحدى الشقق عنوانهم: 343 الشارع الثاني الرقم 4، كذلك الإلكترون يمكن تحديده بوجوده في المدار 2pz. ولكن لسوء الحظ، أظهرت التجارب نفسها تداخلات إضافية مع المجال المغناطيسي لبعض الذرات والذي لم يفسر بنموذج بور.

وقد أصبح يطلق على هذه التداخلات « ظاهرة زيمان الغريبة» (على اسم عالم الفيزياء الذي اكتشفها). وهناك رواية تتعلق بهذا الأمر، فيقال إن عالما نظريا في الكوانطا قابل أحد زملائه عندما كان تمشي على طول الشارع، «لماذا تبدو غير سعيد؟» فأجاب العالم النظري : «وكيف يمكن للإنسان أن يبدو سعيدا عندما يفكر في ظاهرة زيمان الغريبة؟»[5]. ولحسن الحظ، جاء التفسير على وجه السرعة بواسطة فيزيائيين اثنين في العشرينيات من العمر، جورج أولينبك، وسام جود سميث، على الرغم من أنهما حاولا سحب مقالتهما العلمية بعد أن قدماها للنشر ، لأنهما كانا يخشيان أن يكونا على خطأ. وكان تفسيرهما يتلخص في أن الإلكترون من المحتمل أن يدور حول نفسه ليمدنا بعزم مغناطيسي آخر. غير أنه لكي يتحقق ذلك لابد أن يدور الإلكترون بسرعة تفوق سرعة الضوء عشر مرات، إلا أن النموذج كان جيدا، وبذلك ولد الرقم الكمي الرابع والأخير.

وكان وولف جانج باولي (العالم النظري نفسه الذي أوردنا تعليقه على ظاهرة زيمان) قد اقترح سابقا وجود رقم كمي رابع، وضمَّنه منطوق مبدئه للاستبعاد : «لايمكن لإلكترونين لهما قيم أرقام الكم نفسها ... أن يوجدا في الذرة نفسها»[6]. وينص مبدأ باولي على أنه لايمكن أن يكون لإلكترونين المحاور نفسها تماما، كما لايمكن أن توقف سيارتك في المكان نفسه الذي أوقف جارك فيه سيارته. ويكمن جمال هذه الملاحظة في أنها فسرت البناء الدوري للعناصر. كان السؤال المطروح: «لماذا لاتستقر جميع إلكترونات الذرة في أقل المستويات طاقة (كما تستقر الكرات المتأرجحة في قاع السلطانية؟)، وقد عُثِرَ على تفسير لهذا. فقاع سلطانية الجدول الدوري مقسم. فالألكترون يمكن أن يكتسب أحد اتجاهين للدوران، إما بالعزم الزاوي متجها لأعلى وإما متجها لأسفل (حيث يمكن جعل بعض القمم تدور

لأعلى أو لأسفل، لكن بمجرد شغل إلكترونين لهذا القسم ـ أحدهما ذو دوران لأعلى والآخر لأسفل ـ يصبح القسم ممتلئا؛ وعلى الإلكترون التالي أن يذهب إلى القسم التالي. فيذهب إلكترون الهيدروجين الوحيد إلى المدار الأول. ويذهب إلكترونا الهيليوم الاثنان إلى هذا المدار، لكن باتجاه دوران مضاد ليمتلئ بهما المدار. أما الليثيوم فعليه أن يضع إلكترونه الثالث في مدار جديد، ليبدأ بذلك الصف الثاني في الجدول الدوري. وقد أطلق على هذه الفكرة اسم «آوف باو» مبدأ (البناء التدريجي) لبور. «تذهب الإلكترونات إلى أقل مستويات الطاقة غير الممتلئة».

ويمتلئ المستوى الثاني بثمانية إلكترونات وليس باثنين. وقد فسر ذلك أستاذ للفيزياء ألماني قصير ربعة ذو شارب ويبدو كأنه في حالة فزع، اسمه آرنولد سومر فيلد. افترض سومر فيلد وجود أغلفة فرعية داخل كل مستوى طاقة أساسي. وتكون المدارات الكروية التي ليس لها عزم زاو النوع الأول من الأغلفة الفرعية، وهي تمتلىء بإلكترونين اثنين. أما المدارات التي لها وحدة واحدة من العزم الزاوي فتتشكل النوع الثاني من الأغلفة الفرعية. وحيث إن هذه المدارات ليست كروية (يصمم القرص مسطحا ليولد عزما زاويا يرفعه لأعلى عندما يلقى به)، فقد افترض بور ثلاثة اتجاهات محتملة للمدارات: متوازية، ومتضادة التوازي، وعمودية على المجال المغناطيسي المحدد. لذلك فإن الأغلفة الفرعية التي لها وحدة واحدة من العزم الزاوي تملك ثلاثة مدارات وتمتلئ بستة إلكترونات (اثنان في كل مدار).

وقد فسر ذلك أخيرا لماذا كان يختلط الأمر على الكيميائيين فيعتبرون السيلينيوم هو التيليريوم؛ ولماذا وضع مندلييف الكبريت مع الأكسجين، ولماذا أيضا كان النحاس والذهب والفضة هي الفلزات الوحيدة التي أمكن جمعها على شكل فلزي من الطبيعة منذ مائة ألف سنة؛ لقد كانت مجموعات العناصر ذات الفعالية الكيميائية المتماثلة تملك الترتيب الإلكتروني ، أي لها العدد نفسه من الإلكترونات في نوع المدارات الخارجية والأغلفة الفرعية. فالسيلينيوم يضع آخر أربعة إلكترونات في الغلاف الفرعي 4r، بينما يضع التيليريوم آخر أربعة إلكترونات في الغلاف الفرعي5r، وفي النحاس توجد آخر 10إلكترونات في الغلاف الفرعي 3d، بينما آخر 10إلكترونات في الذهب موجودة في الغلاف الفرعي 5d، وتضع الفضة آخر 10إلكترونات

لها في الغلاف الفرعي 4d.

لكن كانت هناك مشاكل عويصة في الصورة المرتبة التي رسمها بور. وكانت أخطر هذه المشاكل أن النموذج كان رائعا ومنضبطا فقط لذرة الهيدروجين . وكان الهيليوم معقدا بدرجة لا يمكن لنموذج بور أن يتعامل معه بدقة ، مع أنه لايملك سوى إلكترونين اثنين. لكن كان هناك حل آخر في الطريق ليرى النور، وسيرى النور في أثناء الحرب. ففي أثناء الحرب العالمية الأولى عُين لوي دي برولي ، الشاب الأرستقراطي الفرنسي المهتم بالتاريخ، في وحدة للاتصال بالراديو فأصبح مهتما بموجات الراديو.

النظرية الكمية الجديدة

لوي فيكتور بيير رايموند دي برولي

كان الشيء الآخر الذي أثر في دي برولي هو أخاه. إذ تيتم في سن مبكرة فقام أخوه الذي يكبره بكثير على تنشئته. وعندما كان أخوه سكرتيرا لمؤتمر سولفاي (مؤتمر في الفيزياء رعاه رجل الصناعة سولفاي الذي اخترع عملية تحضير الصودا التي حلت محل عملية لابلانك)، أبدى الأخ الأصغر دي برولي رغبة في حضور المؤتمر، غير أن الحضور كان يتطلب دعوة وهي لم تكن متوافرة لدى برولي. عندئذ أعلن دي برولي منزعجا أنه سيدعى للمؤتمر القادم، وسيدعى نظرا لاكتشافاته. وقد حدث ذلك بالفعل، لكن في مؤتمر متأخر العام 1927.

قدم دي برولي أطروحته للدكتوراه إلى جامعة السوربون حيث عرض فيها فكرة راديكالية: إذا كان الضوء يسلك كموجة أو جسيمة، فلماذا إذن لاتسلك جسيمة مثل الإلكترون كموجة؟ وباستخدام طريقة بلانك لحساب طاقة كوانتم الضوء (على أساس طور موجته) ومعادلة أينشتاين لعلاقة الطاقة بالكتلة وتكافئهما (المعادلة المشهورة mc2 = E)، توصل إلى طول موجة جسم في حجم الإلكترون. وكانت الخواص الموجبة للألكترون قد رصدت بالصدفة في أوائل العشرينيات من القرن في معامل بيل للتليفونات .لكن في هذا الوقت ، لم تعرف جامعة السوربون ما الذي تفعله بالضبط بأطروحة دي برولي ، وقد اقترحوا عليه أن يحاول عرض الفكرة بالتجربة، ولذلك استمال أحد معارف أخيه . لكن هذا الشخص كان غارقا لأذنيه في

أبحاث كان يجريها على تصميم طريقة جديدة للاتصالات: التلفزيون. وأخيرا توصلت لجنة الامتحان إلى قرار بمنح الدرجة إلى دي برولي على أساس «مجهوداته في محاولة التغلب على الصعوبات الماثلة أمام الفيزياء»[7]، لكن تقييم الآخرين كان قويا، فقد أرسل لانجفين الأبحاث إلى أينشتاين الذي ثمنها كأهم الأبحاث. أرسل لانجفين رسالة دي برولي كذلك إلى فيزيائيين آخرين منهم إروين شرودنجر في جامعة زيورخ، والذي قال عندما شاهدها لأول مرة: «إنها قمامة»[8]، لكنه اقتنع بعد ذلك برأي لانجفين وقرر أن يلقي نظرة ثانية عليها.

الميكانيكا الموجية

إروين شرودنجر

عمل شرودنجر على معالجة وضع الإلكترون كموجة على خطوات متتالية أدت إلى نتيجة سارة: فحقيقة وجود مستويات معينة فقط من الطاقة مسموح للإلكترونات بالوجود فيها والتي افترضها بور كوسيلة لتفسير الطيف الذري ـ جاءت من التتابع الطبيعي للميكانيكا الموجية. ويمكن إدراك هذا التتابع لو تخيلنا موجة تنتشر حول دائرة. فإذا كان محيط الدائرة مساويا بالضبط لعدد صحيح من أطوال هذه الموجة فإن ذيل الموجة سيلتقي مع بدايتها في النقطة نفسها، وستصبح الموجة ساكنة. أما إذا لم يكن محيط الدائرة مساويا لعدد صحيح من أطوال الموجة، فإن الموجة عندما تقطع محيط الدائرة ستكون غير متوافقة مع الموجة الأصلية، وستحطم نفسها. ،لأن للإكترون طول موجة معينا لكل طاقة ، فلابد أن تكون هناك مدارات معينة فقط تدعم الموجة الساكنة، وهي المدارات التي تمثل محيطاتها مضاعفات صحيحة لأطوال الموجة.

ولعل القارئ المحنك قد لاحظ أننا حتى الآن لم نتطرق بشكل راديكالي إلى النظرية الكمية الحديثة التي أعلناها. فما زلنا نتحدث عن مصطلحات ماكروسكوبية ونماذج ميكانيكية، وفيما عدا القليل من الغموض هنا وهناك، فإن الصورة ما زالت حدسية. لكن الخطوة القادمة مبنية على حدس أقل على الرغم من أنها واعدة ، وهي علامة على بداية نظرية الكم الحديثة.

فرنر هايزنبرج

تكمن الفروق الفلسفية بين النظرية الكمية القديمة والحديثة في أبحاث عالم فيزياء ألماني آخر هو فرنر هايزنبزج. كان هايزنبرج يمثل الرعيل الأول من فيزيائيي الكوانتم الذين ترعرعوا تحت وصاية بور. كان هايزنبرج من أولاد الشوارع الأشقياء يمارس رياضة تسلق الجبال ، الأمر الذي ساعده في أبحاث الفيزياء على النمط نفسه (وقد أرجع أحد الرواة روح هايزنبرج المقاتلة إلى تنشئته في بيئة تشجع الشجار بين الإخوة لتقوية الشباب. ونتيجة لذلك كان أخوه يشتبك في معارك وهو مسلح بالكراسي، وعندما كبرا أصبحا متباعدين)[9] لم يكن هايزنبرج راضيا عن النماذج الفيزيائية الكاذبة ، وكان يطمح في نظرية كمية أكثر نقاء مبنية فقط على أشياء يمكن مشاهدتها عيانا، مثل طاقة خطوط الطيف. صمم هايز نبرج نظامه الخاص باستخدام جداول لقيم طاقة خطوط الطيف أو مصفوفاته، وطبق جبر المصفوفات ليصل إلى استنتاجاته . وقد نشر طريقته قبل عدة أشهر من شرودنجر إلا أن شرودنجر أثبت أن الطريقتين متكافئتان. ومع ذلك، فقد دافع هايزنبرج عن طريقته بعناد قائلا: «ما يكتبه شرودنجر عن واقعة نظريته.... ما هو إلا هراء»[10]. غير أنه عندما رأى العلماء مصفوفات هايزنبرج عاد أغلبهم مسرورين إلى الصورة الحدسية للموجات.

كانت إحدى نتائج أبحاث هايزنبرج أن مصفوفاته لم تكن تسمح بحساب موضع وعزم الإلكترون في اللحظة نفسها من الزمن. وتسمى هذه النتيجة الشائقة «مبدأ عدم التيقن لهايزنبرج» وله تفسير فيزيائي. تقاس الخواص الذرية بواسطة تداخل الضوء مع المادة. وحياتنا اليومية تتداخل باستمرار مع الضوء، لكننا لانتأثر ميكانيكيا بخواص هذا الضوء، فالضوء لا يؤذينا ولايؤثر بشكل واضح فينا إلا إذا تعرضنا لحمام شمس مدة طويلة. لكن على المستوى الذري لاتسير الأمور هكذا. فطاقة الأشعة فوق البنفسجية تكفي لركل الإلكترون الدقيق من الذرة (وهو ما تفعل الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس للألكترونات في جلدك عندما تتعرض للشمس). ولذلك، إذا أردنا تحديد موضع الإكترون علينا أن نفعل ذلك بواسطة الضوء المرتد من عليه، لكننا إذا فعلنا ذلك فإننا نصدمه بطاقة كافية لكي تغير من عزمه ، ولذا فقياس العزم بواسطة الضوء غير دقيق بالمرة أما إذا أردنا قياس

العزم بواسطة الضوء ، فإننا نغير من مساره، ولذلك فوضعه يصبح غير دقيق بالمرة. وتلقي هذه المشكلة ـ مشكلة عدم استطاعتنا معرفة موضع وعزم الإلكترون في الوقت نفسه ـ بظلال علي كل النماذج الجميلة الحدسية التي تحاكي الأشياء الماكروسكوبية (الكبرى) . الآن يجب أن نقول إن الإلكترون «يسلك» مثل الموجة، لكن يتحتم ألا نقول أبدا إن الإلكترون موجة ـ أو حتى أنه موجود في «المدار».

عندما قام هايزنبرج بحشد جداوله التي احتوت البيانات لم يكن يتصور أنه يتعين عليه استخدام جبر المصفوفات لمعالجتها . ولكن الذي لفت النظر لذلك كان أستاذه ماكس بورن وبالاشتراك مع طالب آخر هو باسكال جوردون. قام الثلاثة بتطوير النظام، وبعد ذلك ألقى بورن القنبلة التالية . فقد كان يدرك أنه لابد من الاحتفاظ بموجات شرودنجر ، لكن في ضوء مبدأ هايزنبرج لعدم التيقن، لابد من إعادة تفسيرها . عندما قرر بورن أن هذه الموجات ماهي إلا موجات احتمال ، الأمر الذي قوبل بترحاب شديد، وظل الجدل حيا حتي اليوم[11] .

دأب العلماء منذ أيام نيوتن وديكارت على اعتناق فكرة أن الكون منضبط مثل الساعة، وأنه يمكن التنبؤ بحركة جميع الأشياء لو أمكن الوصول إلى المعادلة الصحيحة . غير أن بولتزمان وجيبس قد هزا هذه الفكرة باستخدامهما للاحتمالات الإحصائية، عندما وجدا صعوبة في حساب موضع وعزم كل جسيمة ، ثم جاء هايزنبرج وبورن الآن ليقولا إن حساب موضع وعزم الإلكترون في الذرة ليس مجرد أمر صعب، بل هو مستحيل، وأفضل ما يمكن معرفته على الإطلاق هو احتمال موضع وعزم الإلكترون.

وجاءت الاعتراضات البالغة ـ إذا لم نقل عالية الصوت ـ من أينشتاين. وفيما عدا الاعتراضات الفلسفية، كانت هناك اعتراضات جمالية . فقد استبدلت مدارات بور المرتبة السارة» بمناطق احتمالات» غامضة لاتسر، و«بموجات للاحتمالات» ـ ستسمى فيما بعد «أوربيتالات أو المداريات. ولم تعد الذرة هذه المنظومة الكواكبية المرتبة التي يمكن تخيلها جيدا.

الرباط الكيميائي

بغض النظر عن آراء آينشتاين بشأن عادات الآلهة في اللعب والحاجة

لصورة يمكن تخيلها وجد بعض الفيزيائيين أنه مفهوم الموجات ذو فائدة لهم فبدأوا في استخدامه. وقد كانت أبحاث الفيزيائيين «والتر هايتلر» و«فريتس لندن» ذات أهمية واضحة للكيميائيين. فقد قاما في أواخر العشرينيات من القرن العشرين باستخدام رباط لويس الذي يتكون من زوج من الإلكترونات المقتسمة ، كنقطة بداية ، واعتبر أن معادلة مدارية أوربيتال الرباط هي ناتج معدلات مدارات الذرات، وطبقا عليها النظرية الكمية للحصول على أول نموذج كمي للرباط الكيميائي. ولأن معادلات القوة المتضمنة في تداخل إلكترونين مع نواتي ذرتين معادلات معقدة، بدرجة لايمكن حلها بدقة، فقد استخدما طريقة مبسطة كان اللورد رايل قد طورها لنظرية الصوت. وفي هذه الطريقة يعتبر الحل التقريبي الأقرب للصواب هوالحل الذي يحقق أقل طاقة. وقد أعطت هذه الطريقة قيما مقربة بشكل طيب للطاقة التي تمسك بنواتي الهيدروجين في الجزيء. وبالأضافة لذلك ، فقد وجدا أن اقتسام الإلكترونين للفراغ الموجود بين النواتين يجذب الإلكترونين أكثر إلى النواتين مما يخفض من طاقة النظام ككل . ومثل الكرة التي تتدحرج على جدران السلطانية لتبحث عن أقل الحالات في الطاقة ، كذلك تكون نواة الهيدروجين رباطا بينهما، لأن الرباط يخفض التداخل الكهروستاتيكي إلى قيمة دنيا. وتشد النواتان عن طريق جذب كل نواة للسحابة الإلكترونية للذرة الأخرى، ويتوقف هذا الشد عندما تتزن قوى التنافر بين الشحنات المتشابهة مع قوى الشد. وهكذا، تمت تبرئة ساحة، بيرزيليوس. لقد كان الجذب كهربيا في أساسه، لكن بطريقه لايمكن لبيرزيليوس أن يتخيلها.

وبحصولهم على نموذج فيزيائي للرابط الكيميائي، لم يتوان الكيميائيون عن العمل.

كيمياء الكم

لينوس بولنج

كان أحد أبطال كيمياء الكم الأوائل من الولايات المتحدة ومن الغرب المتوحش بالذات.

ولد لينوس بونج في بورتلاند بأوريجورن. وقد شكل رعاة البقر والوطنيون

الأصليون من أمريكا ومخزن الأدوية الخاص بوالده خلفية سنواتها المبكرة. كان يستمتع باللعب بكيماويات المخزن (مثل حمض الكبريتيك) وقراءة كتب الكيمياء القديمة الخاصة بوالده والعمل في المعمل الذي أسسه في بدروم منزل الأسرة . تمكن من دراسة الهندسة الكيميائية في كلية الزراعة الحكومية، و في ولاية أوريجون، لكنه كان يضطر من حين لآخر للانصراف عن الدراسة للعمل ومساعدة أسرته.

أجرى دراسته العليا في معهد كاليفورنيا للتقانة (كالتك) ثم ذهب بعد ذلك إلى أوروبا للدراسة على أيدي بور وسومرفيلد وشرودنجر. وقد تقابل في إنجلترا مع لورنس براج، الشخصية المهمة في تطوير تقنية أشعة -X لتعيين بنية البلورات . وعودة إلى كالتك الذي أخذ يتبوأ الصدارة بسرعة (رفض بولنج منحة رودس إلى أكسفورد مفضلا الدراسة في كالتك)، حيث أخذ بولنج في دراسة الترابط في البلورات بواسطة حيود أشعة-X

اكتشف بولنج أن الكثير من الافتراضات السابقة عن طول الرباط كانت خاطئة، لأنها لم تقدر قوة الرباط المكون من إلكترونين ، وأعطت الرباط التساهمي أطوالا أكبر من الحقيقة (طول الرباط التساهمي هو المسافة بين نواتين في الجزيء المرتبط تساهميا). فحص بولنج أكبر عدد ممكن من البلورات وطور كما هائلا من المعلومات عن أطوال وشدة الأربطة. انطلاقا من هذه المعلومات ومن النجاحات التي حققها نموذج هايتلر ـ لندن، قام بولنج بتطوير نموذج للربط أطلق عليه «رباط التكافؤ» حيث افترض أن الأوربيتالات أوالمداريات تتكون في الجزيئات من تداخل الأوربيتالات الذرية

وقد أعاد ذلك إلى الأذهان الصورة الحدسية للربط لأن الأوربيتالات الذرية يمكن رسمها ثم رسم الأربطة حيث تتداخل هذه الأوربيتالات . قدمت هذه الطريقة تفسيرا للربط في كثير من الجزيئات، وعندما فشلت ـ كما في حالة الربط في الكربون الذي يعطي شكلا رباعي الأسطح ـ أثبت بولنج أن نظام تهجين الأوربيتالات الذرية يستطيع تفسير الأمر. وتماما مثل موجتين صغيرتين في بركة ماء عندما تقاطعان فيشكلان موجة لها أشكال مختلفة ، فإن أوربيتال s وثلاثة أوربيتالات rيمكن أن تمتزج لتكون أربعة أوربيتالات هجينية تمتد في أربعة اتجاهات فراغية مشكلة رباعي

الأسطح .

استخدم بولنج مفهوم الرنين كذلك. فإذا أمكن التعبير عن الجزيء ببنيتين لأربطة التكافؤ، فإن بنيته الإلكترونية الحقيقية هي رباط رنيني عبارة عن توليفة من الاثنتين. (كان كيميائي ألماني اسمه ف. ج. آرنت قد اقترح هذه الفكرة في بداية العشرينيات، لكنه كانت تعوزه ميكانيكا الكم)، ويمكن التعبير عن جزيء البنزين بواسطة الأربطة الرنينية. فترسم بنيته على شكل حلقة من ست ذرات كربون بها ثلاثة أربطة مزدوجة: رباط مزدوج بالتناوب بين عناصر الحلقة. ولوجود ستة أربطة فأننا نجد طريقتين لوضع الأربطة المزدوجة. وبذا فإن الجزيء الحقيقي تبعا لبولنج هو توليفة رنينية من الاثنتين. لكن فكرة الرنين نفسها أوجدت مشاكل لبولنج، كان بعضها على الأرجح بسبب اختيار الاسم. كانت كلمة رنين بالنسبة للكثيرين تعني التأرجح أو التذبذب للأمام والخلف، وقد ظن البعض أن بولنج كان يعني أن البنى المتعددة لأربطة التكافؤ كانت بالفعل موجودة وأن الجزيء كان يتقلب حرفيا للأمام وللخلف بين هذه البنى المحتملة على اختلافها، وأنه ليس توليفة منها . غير أن بولنج عندما كتب «طبيعة الرباط الكيميائي وبنية الجزيئات والبلورات: مقدمة إلى الكيمياء البنائية الحديثة» في أواخر الثلاثينيات، حيث شرح أفكاره عن رباط التكافؤ، وكيف يمكن استخدامه لفهم الأربطة الكيميائية والأشكال الجزيئية والتنبؤ بهما، عندما كتب هذا الكتاب، أصبح واحدا من أهم المراجع في هذا القرن.

وما طريقة رباط التكافؤ لبولنج إلا وسيلة ومفهوم لإدراك الربط الجزيئي، وهناك طرق أخرى ممكنة. وواحدة من هذه الطرق، اسمها طريقة الأوربيتالات الجزيئية، قامت أخيرا بتحدي بولنج وانفراده في هذا المجال.

روبرت س. موليكن

كان روبرت موليكن هو بطل نظام الأوربيتالات الجزيئية. كان أبوه أستاذا للكيمياء في معهد ماساشوستس للثقافة (MIT). وقد قام وهو بعد شاب بمراجعة بروفات بحث كيميائي يقع في أربعة أجزاء كتبه والده ، وكان يساعده في المعمل، ولم يكن يشغل باله بالنسبة للمستقبل إلا الكيمياء .

مكث موليكن في معهد ماسوشوستس للتقنية MIT للدراسة حيث يروي

أنه : كان يحب الجزيئات عموما ، وبعضها بشكل خاص» [12]. لكن أبحاثه في الدراسات العليا لم تكن متميزة . تخرج في منتصف الحرب العالمية الأولى، ولذلك عمل لبعض الوقت في مجال غازات الحرب قبل أن يتجه للصناعة . درس موليكن نظريات لويس ولانجمير وتعلم نظرية الكم القديمة، ثم غادر إلى أوروبا ليدرس على ايلي وسومرفيلد وبور وبورن.

تقابل موليكن في أوروبا مع الفيزيائي فريدريك هوند . وطورا معا نموذجا للربط مبنيا على أساس المدارات الأوربيتالات التي تمتد لتحيط بكل الجزيء، وذلك في منتصف العشرينيات وبطريقة المراسلة . وقد منحت هذه المداريات الأوربيتالات الجزيئية الأرقام نفسها مثل الأوربيتالات الذرية وكان للإلكترونات بها كميات مكنتمة من العزم الزاوي والعزم المغناطيسي والحركة المغزلية . وضع موليكن وهوند مجموعة رموز المداريات للأوربيتالات الجزيئية للجزيئات ثنائية الذرية (الجزيئيات التي لها فقط نواتان) مستخدمين الحروف الإغريقية (سيجما) و(باي) و(دلتا) و(فاي)، على غرار الأوربيتالات الذرية d,p,s f,.

وفي نموذج المداريات الأوربيتالات الجزيئية تحسب طاقة الأوربيتالات المداريات الجزيئية وتحدد «المواضع» التي تشغلها الإلكترونات بملء الأوربيتال بالإلكترونات (اثنان لكل أوربيتال بالضبط تبعا لباولي)، بدءا بأقل الأوربيتالات طاقة أولا . وتعتمد درجة ثبات الجزيء على عدد الإلكترونات أوربيتالات الترابط مقابل عددها في أوربيتالات عدم الترابط. وتملك أوربيتالات الترابط احتمالات مرتفعة لوجود الإلكترونات في المسافة بين النواتين، أما أوربيتال عدم الترابط فلها احتمالات مرتفعة لوجود الإلكترونات خارج المسافة بين النواتين. وتعتمد الفاعلية على أشكال الأوربيتالات الجزيئية المشغولة .

ولأن هذه الطريقة أثبتت أنها قوية في التنبؤ بفاعلية الجزيئات ، وأنها تقدم معلومات قد تعجز طريقة رباط التكافؤ لبولنج عن تقديمها ، انقسم العلماء إلى معسكرين: هؤلاء الذين اعتبروا أن طريقة رباط التكافؤ هي الطريقة الصحيحة، وأولئك الذين اعتبروا أن طريقة الأوربيتالات الجزيئية هي الصحيحة، وبدلا من امتداح طريقة الأوربيتالات الجزيئية انهمك موليكن في انتقاد بولنج متهما إياه بالتبسيط الأكثر من اللازم. كان موليكن يقول

إن هذا أمر شائع بين الكيميائين لكنه كان يعوق فهمهم للتعقيد الحقيقي في البنية الإلكترونية . جاء رد فعل بولنج مزيدا من التحيز لنفسه. وعندما كان يمكن أن يمتدح طريقة الأوربيتالات الجزيئية وفائدتها في معالجة الجزيئات الكبرى، تمسك بعناد بطريقته في تهجين الأوربيتالات الذرية حتى أنه تحايل بعدد 560 بنية رنينية ليتمكن من تفسير الربط في أحد الجزيئات غير العضوية الكبرى، وذلك في آخر طبعة من كتابه «طبيعة الرباط الكيمائي»[13] .

ومن مفارقات القدر أن الجدل بين مؤيدي نموذج رباط التكافؤ ونموذج الأوربيتالات الجزيئية كان جدلا آخر حول الديناصورات : فالطريقتان كانتا نموذجين لا أكثر ولايمثلان الحقيقة بدقة . وكلا الطريقتين تضحيان ببعض الأمور الرياضية لمصلحة المفهوم العام للصورة، ولكليهما مناطق معينة يصلحان فيها بالذات.

وأفضل تشبيه للنموذجين في هذه الحال هي الخرائط: فخريطة الطرق والخريطة الطوبوغرافية تصفان المنطقة نفسها، لكنهما يعطيان أنواعا مختلفة من المعرفة ـ ولايمكن أن تكون المنطقة هي السبب في ذلك. ويمكن استخدام «خريطة» رباط التكافؤ لبولنج لتخيل بنية وفاعلية آلاف الجزيئات حرفيا ، أما «خريطة» الأوربيتالات الجزيئية لموليكن فتستخدم لفهم بنية وفاعلية جزيئات أخرى وبالتحديد الجزيئات التي تلعب فيها أوربيتالات الربط والربط المضاد دورا فعالا. وقد لاتتضمن خريطة رباط التكافؤ لبولنج خطوط المناسيب وتفاصيل الطوبوغرافيا الموجودة في خريطة موليكن، لكنها تبين بوضوح كيف نصل من النقطة أ إلى النقطة ب، أما طريقة الأوربيتالات الجزيئية مثلا، فهي تتنبأ بالسلوك المغناطيسي للأكسجين، حيث لاتستطيع طريقة بولنج أن تفعل ذلك ، لكن فهمها يحتاج إلى عين مدربة تدريبا عاليا[14] .

حصل بولنج على جائزة نوبل في العام 1954 «عن أبحاثه حول طبيعة الرباط الكيميائي وتطبيقاته في توضح بنية المواد المعقدة»[15] . أما موليكن فقد حصل على جائزة نوبل 1966 (لأبحاثه الرئيسية في الأربطة الكيميائية والبنية الإلكترونية للجزيئات)[16]، وللغرابة، لم تشر لجنة نوبل لاسم هوند، على الرغم من أن نظرية الأوربيتالات الجزيئية في مراحل تطورها الأولى

كانت تحمل اسم نظرية هوند ـ موليكن . وقد قال موليكن إنه «يسعده أن يقتسم»[17] الجائزة مع هوند.

ومازال النموذجان يستخدمان على نطاق واسع إلى اليوم . فتستخدم طريقة بولنج لتعليم الربط وتصور البنى ثلاثية الأبعاد. وقد تراكم رصيد هائل من الأوربيتالات الجزيئية المحسوبة التي تساعد كثيرا على تفسير بعض سمات أنواع معينة من الفعاليات: تداخل الجزيئات مع الضوء أو علم الطيف. وكان أعظم انتصارات كيمياء الكم أنها قدمت التفسير للأطياف الجزيئية

علم الطيف

عندما تحدثنا عن علم الطيف كنا نتحدث عن امتصاص وانبعاث الضوء المرئي. لكن هناك ، كما رأينا في سياق الحديث عن أشعة ـ X ـ أكثر من نوع من الضوء. (عيوننا حساسة فقط للضوء المرئي، لأنه هو الضوء الذي يصل إلى سطح الأرض من الشمس مع بعض الأشعة فوق البنفسجية التي تستخدم لمقاومتها الستائر الشمسية ، وبعض الأشعة تحت الحمراء التي تدفئ الأشياء . وإذا قدر لنا أن نتطور تحت نجم آخر لكانت عيوننا قد أصبحت حساسة لترددات أخرى من الضوء). وفي الحقيقة يمتد الطيف الكهرومغناطيسي للضوء ، نظريا ، فوق مدى لانهائي من أطوال الموجات. وعمليا نقول إنه يمتد من أشعة جاما عالية الطاقة إلى أشعة X ثم الأشعة فوق البنفسجية ثم المرئية فالأشعة تحت الحمراء فالميكروية وأخيرا موجات الراديو منخفضة الطاقة.

وتتداخل كل أنواع الضوء مع المادة بشكل أو بآخر، وتشمل التداخلات المتنوعة للضوء مع المادة مجالات علم الطيف. وبعد التحقق من حركة الإلكترونات بين مستويات الطاقة المكنتمة عند امتصاصها لترددات مناسبة من الضوء، تحقق العلماء من أن الجزيئات المتذبذبة هي الأخرى لها مستويات طاقة مكنتمة وكذلك الجزيئات الدوارة لها مستويات طاقة دوران مكنتمة. وتستخدم الضوء في مدى الأشعة تحت الحمراء لإثارة التغيرات في مستويات الذبذبة ويستخدم الضوء في مدى الأشعة الميكروية لإثارة التغيرات في مستويات الدوران. وتربط نظرية الكم طاقة انتقال الجزيئات بين مستويات

طاقة الذبذبة، والدوران من جهة وكميات أساسية مثل كتلة الجزيء (إذا اتصلت كتلتان بزنبرك لوجدنا أنه كلما نقص وزن الكتلتين أسرعت الاهتزازات الناتجة عن كمية الطاقة نفسها) وطول الرباط (عندما يدور لاعب التزلج على الجليد حول نفسه ويفتح ذراعيه تتباطئ سرعة دورانه ، بينما إذا ضم ذراعيه إلى الداخل تزداد سرعة دورانه). وقام تشاندا سافارا فينكاتا رامان ـ المولود والمتعلم في الهند ـ بوصف ككنتمة التغيرات في تردد الضوء المتشتت. وتزداد كفاءة هذه العملية ـ المسماة تشتت رامان ـ كلما ازداد تردد الضوء ، الأمر الذي يفسر لماذا تظهر السماء زرقاء. فضوء الشمس يغطي المدى المرئي الذي تزداد تردداته من الأحمر فالبرتقالي فالأصفر فالأخضر فالأزرق فالبنفسجي. تتشتت الأشعة الزرقاء والبنفسجية بكفاءة أعلى، لكن أعيننا أقل حساسية تجاه الأشعة البنفسجية (وهي قريبة من فوق البنفسجية)، لذلك تبدو السماء زرقاء. أما الشمس نفسها فتبدو صفراء لأن الضوء الأزرق قد تشتت منها .

ج.ن. لويس مرة أخرى

ساهم لويس هو الآخر في مجال الأطياف الجزيئية، وأحد مساهماته المهمة صكه لكلمة «فوتون» ليصف بها الكوانتم أو حزمة الضوء ، وقد بدأ أبحاثه حول التألق الضوئي وهو في الستينيات من عمره. والتألق الضوئي هوالعملية التي تمتص الضوء، فتتسبب في أن يذهب أحد الألكترونات الجزيء إلى مستوى طاقة أعلى، ثم يعاد بث الضوء بالتردد نفسه أو بتردد مختلف قليلا عندما يعود الألكترون لحالته المستقرة. اكتشف لويس أن بعض عمليات إعادة بث الضوء تحدث لحظيا، بينما يتعطل البعض الآخر. حاول لويس في البداية أن يتجنب تطبيق ميكانيكا الكم، لكنه في بداية الأربعينيات أرجع هذا الفرق إلى حالات الإثارة المحتملة للإلكترون: الحركة المغزلية للإلكترون متوازية مع الحركة المغزلية للحالة المستقرة التي تركها أو تكون الحركة المغزلية للألكترون ضدها. ويسمى هذان النوعان من التألق الضوئي الفسفرة أو الفلورة على الترتيب. وقد شكلا نقطة البداية لمجال الكيمياء الضوئية. وكانا موضوع آخر بحث نشره لويس. وقد مات في العام 1946 في أثناء إجراء تجربة على التألق الضوئي.

وهكذا أثبتت النظرية الكمية أنها مفيدة بشكل شامل في الكيمياء . ويستخدم الكيميائيون العضويون وغير العضويين والتحليليون والحيويون اليوم نظرية الكم لحساب الخواص الثرموديناميكية (الديناميكية الحرارية)، و لفهم الأطياف وتعيين خواص جزيئية مثل أطوال الرباط وزاوية الربط. غير أنه لايجب ألا يحدث انطباع لدى القارئ بأن نظرية الكم تامة ورائقة بحيث إنه بإدخال الأرقام المناسبة في الكمبيوتر نحصل على كل ما نتمناه من معرفة عن نظام الجزيء. فما زال الكثير الذي يجب إنجازه أو تحسينه . فبعد كحل ذلك مازالت ذرة الهيدروجين هي النظام الوحيد الذي أمكن حل مشكلاته بدقة. وكتب بول ديراك، أحد مؤسسي نظرية الكم:

القوانين الفيزيائية الموجودة في الأساس ضرورية لـ... وبذلك أصبح قسم كبير من الفيزياء وكل الكيمياء معروفا تماما... وتكمن الصعوبة فقط في ... درجة صعوبة المعادلات التي تحول دون حلها...[18]

ومع كل الاحترام لديراك، فإن كلمته «فقط» هذه كبيرة جدا . مقولته تلك تشبه أن نقول أن المنخل يصلح جيدا جدا ، والصعوبة فقط في وجود الثقوب. لكن أينشتاين كان حريصا في تقويمه، فقال:

بالتأكيد ميكانيكا الكم شيء مهيب ، لكن صوتا داخليا ينبئ أنها ليست الشيء الحقيقي بعد. فالنظرية تقول الكثير ، لكنها في الواقع لاتجعلنا نقترب من سر «الشيء القديم»[19].

وهكذا، مازال هناك ما يجب إنجازه، وفي الواقع نتعجب من كم الإنجازات الذي كان يمكن أن يحدث لو لم تتدخل الحرب العالمية الثانية! لكنها تدخلت.

الحرب العالمية الثانية

لم تفعل الحرب العالمية الأولى الكثير لخفض تيارات التعسكر والقومية. فقد كان السلام الذي تفاوض بشأنه الحلفاء مع ألمانيا سلاما عقابيا. أما الإيطاليون الذين حاربوا وضحوا إلى جوار الحلفاء، فقد شعروا أنهم غبنوا في اقتسام الغنائم. وقد كان مقدرا للفاشية ـ بشموليتها ونزعتها القومية وتكريس الفرد والتعسكر ـ أن تبدأ في إيطاليا . أما في ألمانيا، التي كانت تناضل التغلب علي الهزيمة والخزي والتضخم والعجز ، فقد كانت الفاشية تمثل شعاع الأمل.

كان هناك سبب للأمل في البداية. وقد استخدم الزعيم الجديد أدولف

هتلر الطرق القديمة التي ثبتت فاعليتها في تركيز الطاقة القومية. حدد هتلر أعداءه، وهم الاشتراكيون واليهود ، ثم بدأعملية البناء العسكرية بانتظام. ونتيجة لإعادة تسليح ألمانيا انتعشت الأعمال وانخفضت البطالة في غضون بضع سنوات.

اقتفت أمم أخرى آثار ألمانيا. فقامت العسكرية اليابانية مستخدمة البناء والتسليح للانتعاش الاقتصادي، واحتلت اليابان منشوريا لتأمين مصادر الحديد والفحم. وتطلعت ألمانيا هي الأخرى للتوسع لتستمر في النقاهة والنمو. وفي الأول من سبتمبر العام 1939، اقتحم طابور من الدبابات الألمانية الحدود البولندية، وبدأت الحرب العالمية الثانية.

من طبيعة الحرب أنها تثير الفوضى والدمار، غير أن الحرب العالمية الثانية كانت بالغة الضراوة. وقد قام جيمس ستوكسبري ـ في كتابه «القصة المختصرة للحرب العالمية الثانية» ـ بوصف (الفترة من 1939 ـ حتى 1945) بأنها «أعظم جيشان مركز للإنسانية منذ الموت الأسود»[20].

طالت الحرب علماء كثيرين مثل هابر وبورن وشرودنجر وبلانك الذي فقد طفلتيه وابنا مات في الحرب العالمية الأولى وابنا آخر أُعدم لاشتراكه في مؤامرة ضد الفوهرر. وقد أنقذه الحلفاء، لكنه توفي في 1947، قبل أشهر قليلة من ميلاده التسعين. أما بور فقد كان يساعد العلماء جميعا دون النظر لاختلاف معتقداتهم، وقد حاول الفرار فغادر البلاد في قارب صيد إلى السويد ثم هرب في طائرة صغيرة إلى إنجلترا وارتدى قناعا على وجهه ولكن لضخامة رأسه لم يكن القناع محكما، لم يتمكن من تنفس الأكسجين، ففقد وعيه في الطائرة حتى ظن الطيار أنه قد توفي ، لكن لحسن الحظ استعاد بور وعيه بعد وصول الطائرة. وكان معه على الطائرة نفسها ابنه آجي بور الذي كان يسير في خطوات والده حتى أنه حصل على جائزة نوبل في الفيزياء مثل والده.

وضعت الحرب العالمية الثانية حدا لتفوق أوروبا في الكيمياء والفيزياء. انتثر العلماء الأوروبيون كالبذور في مهب الرياح الأربعة. ولم يمض وقت طويل حتى أصبح طلاب الكيمياء الألمان يرحلون إلى المراكز العلمية في الولايات المتحدة للدراسة.

تقارب علماء الفيزياء والكيمياء من جميع أنحاء العالم في أثناء تطويرهم

للنظرية الكمية، ليصلوا إلى نظرية الرباط الكيميائي. أسهمت الحروب العظمى في ملغمة هذا الكم من العلماء ـ الحروب التي مثلت نقاط تحول للكثيرين: فأخذت الإنسانية مكان القومية في مجال الولاء النهائي. وأخذ العالم مكان الأمة.

وعدا كون الحروب شاملة، فقد كانت الحروب الجديدة متفردة لسبب آخر، فالتكنولوجيا التي كانت تستغرق قرونا لتتغير أصبحت تتغير كل سنة. وكان أحد الأمور الأكثر تأثيرا في التكنولوجيا الجديدة بالنسبة للكيمياء هو السيارة. وكما سنرى في الفصلين التاليين، قام هذا الاختراع بإلهام وحث الكيمياء كما فعل البحث عن الذهب: الكيمياء النظرية والكيمياء التخليقية وللغرابة، الكيمياء الحيوية. بدأت مساهمة السيارة في الكيمياء الحيوية بالحاجة إلى المطاط من أجل الإطارات.

16 حوالى ١٩١٤ ـ ١٩٥٠
البولمرات والبروتينات: حلقات من السلسلة

- البولمرات
- دراسة البلورات بأشعة X
- مادة الحياة الخام
- القوى بين الجزيئات
- الإنزيمات
- الحبة
- الأحماض النووية

إذا لخصنا أعمال الكيميائيين على شكل قائمة من الإنجازات فإن عملهم سيبدو كأنه تيار مستمر من الملاحظات المثمرة والاكتشافات التي تحوز الجوائز. لكن في الحقيقة، يمضي الكيميائيون آلاف الساعات أمام طاولة المعمل مقابل كل ساعة يمضونها في احتفالات الجوائز، لو حصلوا عليها. وليس مجرد الرضا اللحظي هو الذي يبقيهم في معاملهم. فقد كان وسيظل أحد الدوافع لذلك هو عشق جمال النظام نفسه. فرؤية، وفهم الطريقة الرائقة التي تتداخل وتتفاعل بها العناصر يعد دافعا قويا كافيا بالنسبة لأغلبيتهم. وعدا ذلك فهناك المعرفة بأنه من حين لآخر يمكن الوقوع على اكتشافات تساهم بشكل كبير في تحسين الحياة، بل وحتى تقربنا من فهم جوهر الحياة نفسها.

وعلى أي حال لم يفقد الكيميائيون الدافع في أزمنة الحروب العالمية مهما كانت اتجاهات الحرب فقد كانت هناك الكفاية من التقدم النظري لكي

يُسرَّ أشد المتشددين صرامة، وكانت هناك الكفاية من المواد الجديدة لكي يتغير مستوى الحياة، وكانت هناك الكفاية من المعلومات حول أبنية المواد المهمة بيولوجيا ـ لبنات الحياة ـ لكي نضع الفروض حول أصلها ـ أي أصل الحياة نفسها . ومن الطريف أن هذا الفيض من الفهم والإدراك قد جاء من نقيض الحياة: الحرب. فقد تسببت الحرب في نقص المطاط، وكان المطاط مطلوبا لإطارات سيارة القيصر.

كان المطاط يأتي في الأصل من شجر المطاط. وقد استخدمه جوزيف بريستلي ليمحو به كتابة القلم الرصاص، ومن هنا جاء اسمه (Rub - Rubber)، أما تشارلز ماكنتوش فقد استخدمه في الملابس الواقية من المطر، ومن هنا جاء الاسم (ماكنتوش)، وقد وجد تشارلز جوديير أن المطاط إذا امتزج بالكبريت وتعرض للتسخين (من هنا الفلكنة) يصبح أكثر مطاطية في مدى درجات الحرارة من العالية إلى المنخفضة. فسجل براءة اختراع وبدأ استخدام المطاط في إطارات عربات الجياد الخفيفة. وعندما تبين أن المطاط المفلكن يمكن أن تصنع منه إطارات مناسبة للسيارات الجديدة تضاعف استهلاك العالم من المطاط. وقد وضعت بريطانيا قيودا على تصدير المطاط من الملايو للحفاظ على سعره. أما الدول الأخرى فقد حاولت إنتاج المطاط الصناعي لحماية اقتصادها . وتضاعفت هذه الجهود مع الحروب العالمية. استخدم الألماني فريتس هوفمان مادة منتجة من الأسيتون رخيصة الثمن لصناعة المطاط الصناعي إبان الحرب العالمية الأولى. ومع حلول الحرب العالمية الثانية أصبح كثير من الدول بما ذلك روسيا والولايات المتحدة تنتج المطاط الصناعي هي الأخرى. وقد تعلم الكيميائيون الكثير عن المنتجات الطبيعية في أثناء بحثهم ودراستهم لتخليق المطاط، وتعلموا الكثير عن البولمرات وكيف تتجمع الجزيئات الحيوية معا .

البولمرات

المطاط بولمر مثله في ذلك مثل المواد الحيوية: أي أنه سلسلة من آلاف المجموعات المتصلة ببعضها والتي تسمى مونمرات. وقد تكون وحدات المونمر فى البولمر متماثلة، X-X-X-X (أيزوبرين هو مونمر المطاط، وهو عبارة عن هيدروكربون من خمس ذرات كربون متشعبة)، وقد يتكون البولمر

من وحدات مختلفة بالتبادل في السلسلة، -x-y-x-y-x-y. وقد يرتبط جزيئان مختلفان لكل منهما الرأس المتفاعل نفسه، -x-x-y-y-x-x-y-y أو قد تتكون سلسلة متشعبة أو أي تجمع متعدد الأشكال. وتعتمد خواص البولمر على المونمر الذي يكون السلسلة وطول هذه السلسلة ودرجة تشعبها. ألهم النجاح الذي حققه المطاط الصناعي طرق البحث عن مواد مبلمرة أخرى، وقد حصل الباحثون على مكافآتهم[1].

اخترع جوزيف باتريك في العشرينيات بولمر يحتوي على الكبريت، له رائحة كريهة وأطلق عليه اسم «مطاط ثيوكول» وكان لايتأثر بالمذيبات. وقد استخدم في لحام خزانات الوقود في الطائرات في أثناء الحرب العالمية الثانية. أما المادة المعروفة اليوم باسم عديد كلوريد الفينيل (pvc) فقد كانت معروفة كمادة صلبة هشة من منتصف القرن التاسع عشر، وفي منتصف العشرينيات من القرن العشرين كان الكيميائي الأمريكي والدو لونسبري يبحث عن مادة لاصقة جيدة فاكتشف بالصدفة أن إضافة مذيب له درجة غليان مرتفعة إلى (pvc) جعل من البولمر مادة أكثر ليونة وتكيفا. واكتشف الكيميائيون في الصناعات الكيميائية الإمبريالية أن الإيثيلين والبنز الدهيد يتحدان تحت ضغط عال لينتج مادة صلبة شمعية، لكن الإيثيلين مادة متفجرة بذاتها. وعندما أعادوا بناء جهازهم فإنهم تركوا تسريبا دون أن يعرفوا فدخل أكسجين الهواء والذى اتضح أنه ضروري لتحفيز التفاعل. وتمكنوا فى تجاربهم التالية من تحضير بولمر الإيثيلين وحده «البولي إيثيلين» ذي الفوائد الكثيرة. فقد شكل عازلا كهربيا رائعا لتوصيلات الحرب العالمية الثانية. وقد أدخل بلاستيك البولي ستايرين ورغوته (ستايروفوم) في الثلاثينيات، كذلك بدأ استخدام الزجاج العضوي. وللزجاج العضوي صفات ضوئية رائعة، وقداستخدم في أثناء الحرب العالمية الثانية كمادة خفيفة في نوافذ الطائرات، أما أول استخدام له بعد الحرب فقد كان في صناديق أسطوانات الموسيقى ذات العملة المعدنية. وفي نهاية العشرينيات وظفت الشركة الأمريكية «ديبون» الكيميائي، والاس هيوم كاروثرز يشرف على الأبحاث الأساسية حول البولمرات. كان الهدف القريب للشركة هو استبدال مصادر الحرير الموجودة في المشرق والتي كانت تتناقص في ظل العسكرية اليابانية.

والاس كاروثرز

كانت أول درجة علمية حصل عليها كاروثرز في المحاسبة والإدارة والسكرتارية، إلا أنه في النهاية حصل على درجة الدكتوراه في الكيمياء من جامعة إلينوي. وضع أول أهدافه في شركة ديبون يفهم تركيب البولمرات الطبيعية مثل المطاط والسيليلوز والحرير ثم محاكاتها. استخدام كاروثرز تفاعلات كيميائية معروفة لكنه كان يطبقها على جزيئات ذات مركزين فعالين ـ واحد في كل طرف ـ ليكون حلقات السلسلة. وتعلم وهو ومجموعته الكثير عن البولمرات، لكنهم لم يتمكنوا من إنتاج الحرير إلا عندما قرر أحدهم أن يعبث قليلا.

ففي أحد الأيام كان أحد معاوني كاروثرز، واسمه جوليان هيل، يعبث بمادة لزجة جدا من البولي أستر في قاع الكأس عندما لاحظ أنه إذا التقط على طرف ساق زجاجية كرة صغيرة من هذه المادة اللزجة جدا فإنها تجرجر وراءها أوتارا تصبح حريرية المظهر عند فردها. وفيما بعد عندما كان الرئيس غائبا في المدينة قرر هيل وآخرون معه أن يروا إلى أي مدى يمكن فرد (سحب) هذه المادة اللزجة، وذلك بسحبها على طول الردهة. انتهوا إلى تكوين خيوط حريرية جدا نتجت عن توجيه البولمر في أثناء فرده، كانوا يدركون أن للبولى أستر الأولى درجة انصهار منخفضة ويذوب أكثر من اللازم فى الماء، مما يجعل من الصعب صنع ملابس جيدة منه (الأمر الذي تم التغلب عليه فيما بعد). ولذا فقد عادوا إلى طريقتهم واستخدموا بولمر أكثر صلابة هو البولي أميد الذى كان موجودا عندهم. ونجحت الطريقة.

وعندما عاد الرئيس من المدينة أخبروه بما فعلوا، فكان ميلاد النايلون الذى تطور إلى مادة شبيهة بالحرير في غضون عشر سنوات. وقد أعلن عنه بصفته حريرا صناعيا مصنوعا من الفحم والهواء والماء فى معرض نيويورك الدولي سنة 1939، وقد عرض استخدامه في جوارب السيدات المحبوكة، وكانت العارضة موجودة داخل أنبوب اختبار ضخم[2]. و. وكان النـ لحظيا. ويروى أنه قد بيع أربعة ملايين من الجوارب النابليون خلال ساعات في أول سوق لمدينة نيويورك غير أن قيودا قد وضعت في التو على المبيعات وصادرت السلطات العسكرية المادة لاستخدامها في المظلات. لم يمتد

العمر بوليم كاروثرز ليرى هذا النجاح فقد توفي منتحرا في فندق بفيلادلفيا العام 1937.

تبع ذلك بسرعة مادتان مختلفتان هما « داكرون» (بولي أستر مفيد ذو درجة انصهار مرتفعة ولا يذوب، وقد طوره الكيميائيان البريطانيان ركس ويفليد وجيمس ديكسون وسوقته في بريطانيا الصناعات الكيميائية الإمبريالية تحت اسم « تريلين». وفي ألمانيا، طور كيميائيو «فاربين» رغوة البولي يوريثان). وفي الولايات المتحدة اكتشف أحد الكيميائيين في «ديبون» «التفلون» بعد سنتين من حصوله على الدكتوراه، واسمه روي بلونكيت. وقد وقع على هذا الاكتشاف عندما فتح أسطوانة من الغاز من المفترض أنها تحتوي على هيدروكربون مفلور، ولكن لم يخرج منها أي شيء. انتابه الفضول فأدخل سلكا من خلال الصمام ليتأكد أنه فتح الأسطوانة، واضطر بعد ذلك لقطع الأسطوانة فوجد مسحوقا شمعيا أبيض على قاع الأسطوانة وعندما اختبر خواص هذه المادة اتضح أنها لا تتفاعل مع الأحماض ولا القواعد ولا تتأثر بالحرارة أو المذيبات، وزلقة جدا. ويبدو إنه لا يلتصق بها شيء. كان إنتاج هذه المادة مكلفا، وربما كانت ستظل حبيسة الفضول المعملي لولا حاجة مشروع القنبلة الذرية إلى مادة خاملة لاتتآكل بفعل سادس فلوريد اليورانيوم القوي.

ظل التفلون الذي اخترعه بلونكيت سرا عسكريا إلى ما بعد الحرب عندما صار معجزة عصرية. فاستخدم كطبقة لتغطية طاسات التحمير ولحام الوصلات في الأنظمة الصحية المنزلية. والتفلون واحد من مواد صناعية قليلة يتقبلها جسم الإنسان، ولذلك استخُدم في الأجهزة التعويضية مثل القرنيات والعظام والمفاصل والقصبة الهوائية وصمامات القلب والأوتار والقنوات المرارية وأطقم الأسنان. ويقال إن الولايات المتحدة قد أنتجت رئيسا لها من التفلون.

وقد جعل نجاح المواد البولمرية من دراسة تخليق وبنية وخواص البولمرات علما قائما بذاته اسمه كيمياء البولمرات. وفوائد هذا العلم واضحة لكل من يجلس في مقعد من البلاستيك ويقرأ بعدسات بلاستيكة. غير أنه مازالت هناك فوائد أخرى غير خافية. فمن خلال فهم البولمرات الطبيعية والمخلقة أمكن اكتساب بصيرة تجاه بنية ووظيفة الجزيئات المهمة بيولوجيا وكذلك

البوليمرات، مثل الحمض الريبونووي (RNA ـ رنا)، والعملية التي تتكاثر بها الخلايا وتعطي الحياة غير أن الطريق من المطاط إلى RNA) ـ رنا) كان صعبا، وندين بالقدرة على خوض غماره للكيميائيين الذين انغمسوا في «الشحم» حتى مرافقهم.

هيرمان ستودينجر

كان الكيميائي الألمانى هيرمان ستودينجر الشخصية الرئيسية في كيمياء البوليمرات في البداية. كان مهتما بالنبات لكن والده أقنعه بأن خلفية من الكيمياء ستقوي من فهمه للنبات، لكنه قرر البقاء بعد ذلك في الكيمياء. وكأي كيميائي آخر في ذلك الزمن (حوالى 1920) كان متحمسا لدراسة البمولمرات، مع ميل أكثر تجاه طبيعة المواد وليس طرق تخليقها. بدأ أبحاثه فى المجال العام للمركبات ذات الأوزان الجزيئية الكبيرة: الجزيئات الكبرى (الماكروية). ومع أن هذه المواد كانت مطلوبة من الصناعة في ذلك الوقت إلا أن البحوث في مجال الجزيئات الكبرى كانت تعتبر « كيمياء الشحوم» في عرف المؤسسات الأكاديمية.

وحدة الكتل الذرية اسمها «دالون» وهي تساوي بالتقريب كتلة ذرة الهيدروجين (وقد سميت على شرف واحد من الأبطال الأوائل جون دالتون). وعندما عين ستودينجر الأوزان الجزيئية لبعض الجزيئات الكبرى وجدها في حدود 100 ألف أو 300 ألف دالتون مقارنة بالوزن الجزيئي للماء 18 دالتون، أو لأحد المركبات العضوية الفلزية ربما يصل إلى 500. اعتبرت الأوزان الجزيئية الكبرى مجرد سخافات وهراء. فقد كانت الفكرة المسيطرة هي أن الجزيئات الكبرى ما هي إلا وحدات صغيرة متراكمة بشكل أو بآخر على بعضها البعض، وإذا ما نقيت جيدا فستتحرر الوحدات الصغيرة. تعرض ستودينجر (الرجل الضخم حلو اللسان) لرفض تمويل أبحاثه فى مناسبات عدة، لكنه ظل وفيا لآرائه، وقد روى أنه رد مرة بكلمات كأنها كلمات مارتن لوثر: « ها هنا أقف، ولن أتزحزح»[3].

دأب ستودينجر ومعاونوه على القيام بتجارب تأكيدية لبيان أن الجزيئات الكبرى في الواقع مترابطة بأربطة تساهمية. اعترف العالم بأفكار ستودينجر العام 1935، ومنح جائزة نوبل 1953 على أبحاثه. جاء الدعم لأفكار ستودينجر

من تجارب معاونيه بمن فيهم ماجدة فويت ستودينجر، زوجته وعالمة فسيولوجيا النبات والتي شاركته في تأليف عدد من أبحاثه. كذلك دعمت آل ستودينجر أبحاث علم البلورات بأشعة X التي أجراها هيرمان مارك.

دراسة البلورات بأشعة X

هيرمان مارك

تنبأ ماكس فونلو في أوائل القرن العشرين بأن أشعة X يمكن أن تحيد بفعل أنوية الذرات في البلورات. وطور الأب والابن وليم هنري براج ووليم لورنس براج جهازا ومعادلات على الترتيب للحصول على معلومات عن بنية الجزيئات من نسق حيود أشعة X في عملية وصفت بأنها معضلة عويصة في ثلاثة أبعاد (مجسمة).

غير أن هيرمان مارك تمكن من حل المعضلة بالنسبة للبولمرات، واستخدام نسق أشعة X ليثبت أنها بالفعل جزيئات كبرى. اضطر هيرمان مارك لمغادرة ألمانيا إلى الولايات المتحدة حيث لم تكن الأفكار الخاصة بالبولمرات تستدعي مواقف عدائية كما في ألمانيا، وقد لاقت أفكار مارك قبولا أسرع من ألمانيا. استنتج مارك كذلك أن الجزيئات الكبرى بها سلاسل غير محكمة الربط تدور بسهولة حول محورها، الأمر الذي لا يتفق مع ستودينجر الذي كان قد قرر أن الجزيئات الكبرى لها بنية جامدة. كان ستودينجر نفسه قد أصبح جامدا في معتقداته، لكن الجيل الجديد من كيميائيي البولمرات جعل من حرية دوران الوحدات في البولمر أمرا مستقرا.

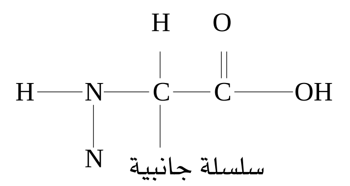
واليوم، أصبح علم كيمياء البولمرات مستقرا وثابتا ومحترما، وقد طبقت المبادئ المكتشفة بواسطة كيميائيي البولمرات على أقسام مهمة من الجزيئات الكبرى الطبيعية الحرجة بالنسبة لكل العمليات الحياتية: مادة الحياة الخام.

مادة الحياة الخام

البروتينات بولمرات للأحماض الأمينية. والأحماض النووية بولمرات للنوويدات (النيو كلتيدات). وقد تكون الكربوهيدراتات بولمرات للسكريات البسيطة، أما الدهون والزيوت والشموع ـ مع أنها ليست بولمرات ـ فهي بالتأكيد جزيئات كبيرة. تناول الكيميائيون هذه المواد في النصف الأول من

القرن العشرين بغرض تحليلها وفهمها ثم محاكاتها. ومع أن هجوم الكيميائيين كان على جميع الجبهات، إلا أن الطرق الرئيسية كانت تشق في أحد مواد الجسم كلية الوجود: البروتين.

والبروتينات (من الكلمة الإغريقية التي تعني الأول)، هي المكونات الرئيسية للشعر والجلد والأظافر والعضلات والأوتار والأوعية الدموية، وهي تقوم بالعديد من الوظائف البيولوجية. فالإنزيمات، حوافز التفاعلات البيولوجية، هي الأخرى بروتينات (باستثناء وحيد سنناقشه باختصار). والبروتينات بولمرات للأحماض الأمينية: وهي أحماض عضوية (COOH) وأمين (NH2) مرتبطين من خلال مركز هو ذرة كربون. ولذرة الكربون التي تربطها مجموعة أخرى متصلة بها تسمى السلسلة الجانبية. والاختلافات في السلاسل الجانبية تصنع الاختلافات في الأحماض الأمينية (راجع الشكل 16:1). ونظريا قد تكون السلسلة الجانبية أي مجموعة عضوية، إلا أنه في الواقع لا يوجد سوى 20 حمضا أمينيا مختلفا في الأنظمةالحية. وأينما كانت البروتينات فإنها تتكون من 50 إلى 1000 من هذه الأحماض الأمينية مترابطة مع بعضها من طريق الطرف الحمضي في أحدها مع طرف الأمين في الآخر في حلقة تسمى « الرباط الببتيدي». وتترابط الأحماض الأمينية في نظام وترتيب خاص جدا وأي خلل في هذا الترتيب ولو بوضع حمض أميني واحد في غير مكانه يؤثر كلية في وظيفة البروتين. وتحدث أنيميا الخلايا المنجلية بسبب خلل في بنية بروتين هيموجلوبين.



الشكل (16:1) حمض أميني عام. وللأحماض الأمينية المختلفة سلاسل جانبية مختلفة، فمثلا السلسلة الجانبية في الألانين هي CH3 وفي الجلايسين Hوفي السيستايين CH2SH.

كان من الصعب تعيين الأحماض الأمينية في البداية، لأن التفاعلات التي يستخدمها الكيميائيون لكسر البروتين كانت تحطم الأحماض الأمينية في أثناء العملية. لكن مع تقدم تقنية التحليل أمكن تعيين هذه الوحدات

بواسطة كيميائيين مثل إميل فيشر وسيدني كول وفريدريك جولاند هوبكينس. كانت الصعوبة تكمن في تقرير الكيفية التي ترتبط بها الأحماض الأمينية في البروتينات المختلفة. وقد تم التوصل إلى التحليل الكامل لترتيب الأحماض الأمينية في أحد البروتينات في منتصف الأربعينيات. ثم جاءت أبحاث فريدريك سانجر التي حل فيها لغز ترتيب الأحماض الأمينية في الأنسولين.

فريدريك سانجر

كان الأنسولين قد أصبح متاحا في صورة نقية متبلرة قبل أن يبدأ سانجر أبحاثه. اقترح عليه رئيسه في كامبريدج، تشارلز تشيبنال، أن تقوم بتعيين ترتيب الأحماض الأمينية، وقد تمكن من اقتطاع أجزاء مختلفة الطول من الإنزيمات مستخدما في ذلك مركبات الفلور المحضرة حديثا والمقترنة بأبحاث الحرب ومجموعات من الأحماض والإنزيمات، وقد استخدم هذه القطع من المعلومات لتعيين الترتيب فى السلسلتين اللتين تصنعان الأنسولين وعين مكان اتصال السلسلتين.

غير أن ترتيب الأحماض الأمينية في البروتينات يمكن تعيينه فقط في البروتينات المنقاة والمزالة من ظروف الخلية الأصلية، وقد أثار بعض الكيميائيين التساؤل حول ما إذا كانت بنية البروتين داخل الخلية هي نفسها في البروتين المنقى، وكانوا محقين.

تتكون المواد الحية، بما في ذلك جسم الإنسان، من خلايا أو من خلية واحدة (مثل البكتريا). وتعمل الخلايا كأوعية صغيرة جدا لإجراء التفاعلات الكيميائية البيولوجية، حيث تمر هذه العمليات الدقيقة والمعقدة بالظروف الكيميائية المحكمة. ويمكن للبروتينات أن تسلك بشكل مختلف جدا خارج ظروف التحكم الموجودة داخل الخلية، لأن الأداء الوظيفي يعتمدجزئيا على الشكل ثلاثي الأبعاد الذي تتخذه السلاسل الطويلة داخل الخلية (مثل الأداء الوظيفي للكرسي الذي سيتلف بشكل جاد إذا تحول الكرسي إلى كومة من العصي بدلا من القاعدة والأرجل والظهر). وهذا الشكل خاص جدا ويتحدد عن طريق التجاذب داخل السلسلة وبين السلاسل. ومع أن هذه التجاذبات (تسمى القوى بين الجزيئات) أضعف من قوة الأربطة

التساهمية، إلا أنه يوجد الكثير منها بشكل يجعلها كافية لتفرض بنية ثلاثية الأبعاد. وقد تطلبت عملية استيضاح البنية ثلاثية الأبعاد فهما لهذه القوى، وقد كان أن تم القيام بهذا العمل في زمن الحروب العالمية أيضا.

القوى بين الجزيئات

على الرغم من أن محاولات كيمياء الكم السابقة أعطتنا بعض البصيرة حول الربط الكيميائي، إلا أن الرواية مازالت تحتاج إلى أكثر من ذلك. فالأربطة الجزيئية كقوى داخلية في الجزيء بالقطع هي مهمة لبنية المادة، لكن القوى بين الجزيئات لها الدرجة نفسها من الأهمية ولا يجوز إهمالها. فمن دون الأربطة بين الجزيئات ستصبح كل المركبات غازات. فالقوى بين الجزيئات هي الشريط اللاصق الذي يجعل السوائل تتكثف والمواد الصلبة تتجمد. وهذه القوى أضعف عشرات المرات من قوى الربط، لكن من دونها لكانت المواد قد تناثرت متباعدة عند تلامسها. وإحدى هذه القوى والمسماة «الرباط الهيدروجيني» تعتبر مهمة بشكل هائل. والربط الهيدروجيني هو التجاذب بين جزء الهيدروجين الموجب في في جزيء مع جزء الأكسجين أو النيتروجين أو الفلور - ذي الكهربية السالبة العالية - إما في جزيء آخر، وإما داخل الجزيء نفسه. وأفضل مثال على الربط الهيدروجيني هو التجاذب بين هيدروجين أحد جزيئات الماء (H2O) ، مع أكسجين جزيء آخر. ويعتبر الرباط الهيدروجيني مسؤولا عن كثير من صفات الماء بما في ذلك خاصية التمدد عند التجمد، فمعظم المواد الأخرى تنكمش عندما تتجمد، بينما يحاول الماء رص أربطته الهيدروجينية وجزيئاته في الجليد المتبلر فتكون المحصلة النهائية هي التمدد. ويفسر هذا التمدد أو الزيادة في الحجم (نقص الكثافة) لماذا يطفو الجليد فوق الماء وتتكسر الأرصفة المبللة في الشتاء (في أوروبا عندما تتجمد - المترجم). وتعود بعض صفات الماء كمذيب إلى وجود الأربطة الهيدروجينية. فتشكل جزيئات الماء ما يشبه «القفص» حول جسيمات المذاب مما يزيد من ذوبانيتها. وتوجد الأربطة الهيدروجينية كذلك بين سلاسل البروتينات.

فبمجرد خروج بنية البروتين ثلاثية الأبعاد خارج الظروف الدقيقة الطبيعية المتزنة، فإن الحرارة وعوامل الاضطراب المختلفة ستفسد طبيعتها الرقيقة

الممسوكة بالأربطة الهيدروجينية. فالكحول مطهر لأنه يفسد طبيعة بروتين البكتريا. وتؤثر عملية الطهو على هيئة بروتين البيض واللحم. وتصور الأنزيمات بشكل جيد أهمية البنية ثلاثية الأبعاد للأداء الوظيفي في الجزيئات البيولوجية.

الإنزيمات

بينما كان الاعتقاد السائد سابقا أن كل الإنزيمات تتكون من البروتينات، فقد اتضح أن هذه النظرة تتعرض لتغيرات كما سنرى. لكن يمكن القول بالقطع إن الغالبية العظمى من الإنزيمات بروتينات (أكثر من 2000 نوع معروف)، ولكل واحد منها بنيته الخاصة ثلاثية الأبعاد التي هي مفتاح الأداء الوظيفي. وقد وصف إميل فيشر في أواخر القرن التاسع عشر هذه الظاهرة بنموذج «القفل والمفتاح»: فالإنزيمات لها أشكال محددة لتناسب المواد المتفاعلة التي تحفزها بحيث تمسك بها وتحتفظ بها لتتفاعل ـ كما يناسب المفتاح القفل (راجع الشكل 2: 16)، وقد استخدم جون كورنفورث، الكيميائي الأسترالي، هذا النموذج لتفسير السبب وراء تكون الجزيئات الطبيعية في إحدى صورتين ـ صورتي مرآة ـ وهو الغموض الذي لم يحل لغزه منذ أبحاث باستير حول حمض الطرطريك والملقاط. فكر كورنفورث أن الإنزيمات كانت تعمل كقوالب ثلاثية الأبعاد لا ينتج عنها شكل واحد فقط. كان كورنفورث أصم منذ منتصف العشرينيات من عمره، ولم يكن له من مساعد إلا مساعد واحد هي زوجته ريتا الكيميائية الأسترالية هي الأخرى. وقد جاءت التوضيحات المتوالية لبنية هذا النوع المهم من الكيماويات البيولوجية وأدائها الوظيفي من أبحاث كيميائي من الولايات المتحدة اسمه جيمس سومنر وأبحاث كيميائي ألماني اسمه ريتشارد مارتن ويلستاتر.



الشكل (16:2) نموذج القفل والمفتاح لعمل الإنزيما. ويتشكل الإنزيم بحيث يناسب المواد المتفاعلة لكي تستقر على سطحه. وبوجودها على السطح متقاربة تتفاعل. ولأن الناتج لا يناسب سطح الإنزيم بالدرجة نفسها فإنه سينفصل ويغادر السطح.

جيمس سومنر وريتشارد مارتن ويلستاتر

درس ويلستاتر مع باير، ولثقة باير فى ويلستاتر، نصحه أن يتعمد مسيحيا من أجل تدرجه الوظيفي. رفض ويلستاتر ذلك، غير أن الأيام قد بينت أن الأمر لم يختلف: فأي ميزة كان سيحصل عليها لم تكن لتستمر طويلا. أصبح أستاذا ومسؤولا عن تدريس كيمياء الصباغة. وبدأ أبحاثه حول الكلوروفيل، الصبغة النباتية التي تقوم بعملية التخليق الضوئي، كمجال قريب من الصباغة.

وقد تسببت الحرب العالمية الأولى في إعاقة أبحاثه حول الكلورفيل، لأن كثيرا من معاونيه جرفتهم الحرب، فضلا عن جهوده من أجل الحرب ومن بينها تطوير أقنعة للغاز مقاومة للكلور والفوسجين. وقد منح وسام الـ «أيرون كروس» من الطبقة الثانية على أبحاثه تلك. و في العام 1915 حصل على جائزة نوبل عن أبحاثه في مجال الصبغات النباتية، لكنه لم يتمكن من تسلم الجائزة إلا بعد الحرب.

وقد قام ويلستاتر في الفترة ما بين الحربين بإجراء أبحاث على المواد المهمة حيويا بما في ذ لك تخليق القلويد «كوكايين»، كما أنه درس الإنزيمات أيضا. ونتيجة لدراسته للإنزيمات، توصل إلى نتيجة أن الإنزيمات لا تتكون من البروتينات فقط بصورة مطلقة، إلا أنها لابد أن تحتوي على ناقل من البروتين. وقد أثار ذلك جدلا شديدا مع سومنر الكيميائي الأمريكي.

بترت ذراع جيمس سومنر بعد حادثة صيد ـ وهو الأعسر أصلا. وقد نصح بأن يغير من حياته ويختار شيئا آخر غير الكيمياء لأنه سيواجه صعوبات في إنجاز العمل في المعمل. لكنه قرر العكس، ومكث مع الكيمياء، وتمكن من الحصول على بلورات أحد الإنزيمات لأول مرة وبين أن الإنزيمات المعروفة بروتينات.

وعندما قال سومنر في العشرينيات (بعد 9 سنوات من البحث) إنه قد حصل على إنزيم نقي وإنه بروتين، كان ويلستاتر هو الرائد في مجال كيمياء الإنزيمات، ولرأيه وزن كبير. وقد نصح بعض النقاد سومنر أن يذهب إلى ألمانيا ليتعلم هناك على يد كيميائييها هناك. دافع سومنر عن نتائجه باستماتة، وفي الثلاثينيات أعاد كيميائيون آخرون تجاربه وبرّئت ساحته. وبحلول الحرب العالمية الثانية وتهديداتها وجد ويلستاتر أن وضعه

أصبح قلقا في ألمانيا، فاستقال احتجاجا على سياسة الاضطهاد في الجامعات. غير أنه ظل مهتما بالأبحاث، وكان يتصل بمساعدته الدكتورة مارجريت رودوالد بالتليفون. طُلب منه بعد ذلك أن يعيد جواز السفر، وحاول الجستابو أن يعتقله لكنه لحسن الحظ لم يكن بالمنزل. وقد نجح في النهاية أن يحصل على تصريح بالسفر إلى سويسرا بعد أن صودرت معظم ممتلكاته ـ بما في ذلك الميدالية الذهبية لجائزة نوبل.

وعندما تم استيضاح وظائف الإنزيمات، أصبح واضحا أنه ليس جميع الإنزيمات تعمل بنفسها. وفي بعض الأحيان تكون هناك مواد ضرورية لمصاحبة الإنزيمات تسمى الإنزيمات المساعدة ـ وواحد من أقسامها المعروفة جيدا الفيتامينات. وهناك مجموعة أخرى من البروتينات عالية التخصص هي الهرمونات ـ الرسائل الكيميائية للجسم.

الهرمونات

تنتج الهرمونات بواسطة الغدد وتنتقل بواسطة الدم إلى أهدافها. فالهرمونات تحفز وتنظم مجموعة من الوظائف متضمنة النمو والهضم والتكاثر. وقد قام الكيميائي الياباني جوكيتشي ياكامين في العقد الأول من القرن العشرين، و في أثناء عمله في الولايات المتحدة، قام بفصل أول هرمون، وهو الأدرينالين. أما الأنسولين فقد فصل العام 1921 بواسطة الكنديين فريدريك بانتنج وتشارلز بست، عينت بنيته كما سبق أن بيَّنا 1954 بواسطة فريدريك سانجر.

تمكن الكيميائي الكرواتي ليوبولد روزيتسكا من تحويل الكوليسترول إلى أندروستيرون، (هرمون جنسي ذكوري)، وستيرويد (مشتق له تركيبة حلقية خاصة) وحصل على جائزة نوبل العام 1934 عن أبحاثه حول البنى الحلقية كما منحت لجنة نوبل الجائز ة للألماني أدولف بوتينانذت عن أبحاثه حول هرمونات الستيرويد، لكنه كمواطن ألماني في ظل حكم هتلر لم يقبل الجائزة إلا بعد الحرب على الرغم من أنه رفضها في حينه. (كان هتلر غاضبا لأن أحد الكتاب نزيل معسكرات الاعتقال قد حصل عليها العام 1936، ولذا لم يكن ليسمح لأي ألماني بالحصول عليها). وبعد الحرب، طور لويس ساريت عملية من 37 خطوة لتخليق الكورتيزون، الهرمون

الستيرويدي المفيد في علاج ظروف الالتهاب. وقد حسَّن بيرس جوليان، الأمريكي من أصل أفريقي، والكيميائي الحيوي الحاصل على 130 براءة اختراع، من هذه الطريقة. إلا أنه لا يوجد هرمون ستيرويدي كان له هذا الأثر البالغ في المجتمع أكثر من الهرمون الذي يسمى ببساطة «الحبة».

الحبة

راسل ماركر

كان لراسل ماركر سيرة حياة غير عادية. فقد أكمل رسالته لنيل درجة الدكتوراه في الكيمياء العضوية، لكنه لم يحصل على الدرجة لأنه رفض أن يدرس بعض المناهج المقررة في الكيمياء الفيزيائية. ومع أنه حُذِّر من أنه قد لا يصل في النهاية إلى أبعد من وظيفة «محلل بول»(4)، إلا أنه تقدم وظيفيا فشغل عدة مناصب في الصناعة حتى الثلاثينيات، عندما حصل على منحة للبحث بجامعة بنسلفانيا الحكومية مدعمة من شركة أدوية بارك ـ دافيز لإجراء أبحاث على الستيرويدات.وعندما كان في ولاية بنسلفانيا، اكتشف طريقة لصنع البروجيسترون أحد هرمونات الأنوثة، من سيترويد موجود فى نوع خاص من البطاطا المكسيكية. لم يتمكن من الحصول على دعم لهذا البحث، ولذا فقد استقال من عمله وذهب إلى المكسيك وقام بجمع البطاطا بنفسه، ثم اتصل بأحد المعامل الصغيرة فى مدينة مكسيكو لإنتاج البروجيسترون، وأطلق على الاستثمار المشترك سينتكس. لم يتمكن ماركر من التعاون بعد ذلك مع شركائه فترك سينتكس وهجر بحوث الكيمياء بعد ذلك بفترة وجيزة. وظفت سينتكس كيميائيا آخر هو جورج روزينكرانز الذي أكمل أبحاث ماركر وقام بتخليق هورمون الذكورة تيستوستيرون من المصدر نفسه ـ البطاطا. نجح المشروع ماليا وتم توظيف كيميائي آخر اسمه كارل جيراسي لإنتاج الكورتيزون والستيرويدال ـ هرمون أنوثة آخر. ومع أن سيرك للأدوية قد أوجدت سوقا لكيماويات منع الحمل، إلا أن ذلك لم يكن هدف بحوث سينتكس. ومع ذلك فقد قام كيميائيو سينتكس بتخليق شبيه للبروجيسترون في أثناء محاولاتهم إنتاج ستيرويدال ـ هو 19 ـ بروجيسترون والذي كانت تنقصه وحدة كربون واحدة من البروجيسترون. وإحدى وظائف البروجيسترون هي منع التبويض (كما يحدث في أثناء

الحمل)، وقد وجد أن 19ـ بروجيسترون يقوم بهذا العمل بصورة أفضل من نظيره الطبيعي. كان تعاطيه يتم بالحقن فقط في بادئ الأمر، غير أن الكيميائيين في سينتكس اكتشفوا طريقة للتعامل بالفم معه خلال فترة قصيرة. هكذا ولدت «الحبة».

ومع المعلومات المستحدثة عن وظائف الخلايا والجسم جاء فهم الاختلال الوظيفي للجسم وطرق علاجه. وتقدمت الأدوية في ذلك العصر من مانعات العفونة التي تعمل على الكائنات الدقيقة فوق سطح الجسم إلى المضادات الحيوية التي تبحث عن الكائنات الدقيقة داخل الجسم لتقضي عليها. وقد جاء التقدم المبدئي في صناعة هذه المواد من منتجي الصبغات أنفسهم الذين زودونا بالأسبرين وأدوية السيفلس (الزهري).

عندما لاحظ كيميائي الصباغة الألماني جيرهارد دوماجك أن مشتقات السلفوناميد، المحتوية على مجموعة SO2 NH، صبغات جيدة للحرير ـ الأمر الذي يعني أن لها ميلا لجزيئات البروتين (فالحرير بروتين) ـ استخدم واحدة من هذه الصبغات، برونتوسيلن ، فوجد لها فعالية قوية ضد الإصابة بالبكتريا في الوقت الذي يمكن للفئران أن تتناول جرعات كبيرة منه دون ضرر. وتختلف الروايات هنا. فمن قائل إن دوماجك قد استخدم هذه الصبغة لعلاج ابنته التي كانت تحتضر، إلى من يقول إنه استخدمها لعلاج صبي يحتضر عمره 10 أشهر فقط. وعلى أي حال، أنقذت أدوية السلفوناميد أو السلفا المكتشفة بهذه الطريقة أرواح الكثير من البنات والأولاد والأبناء. وقد منع هتلر دوماجك من تسلم جائزة نوبل التي حصل عليها.

وفي العام 1928 لاحظ ألكسندر فلمنج، الكيميائي الحيوي البريطاني، التأثير «المضاد حيوي» لفطر العفن «بنسيليوم نوتاتوم». وقد فُصلت المادة الفعالة «البنسلين» بواسطة عالم الباثولوجي الأسترالي هاوارد فلوري، واللاجئ الألماني الكيميائي الحيوي إرنست تشين. وقد أدت الحاجة إلى معالجة الأعداد الكبيرة للجرحى في الحرب العالمية الثانية إلى تطوير كبير في الجهود لإنتاج البنسلين بكميات كافية. وقد حصلت الكيميائية دوروثي هودجكين على جائزة نوبل العام 1964 على تعيين بنية كل من البنسلين وفيتامين B12 والأنسولين باستخدام أشعة X.

دوروثي ماري كروفت هودجكين

ولدت هودجكين في مصر، حيث كان والداها عالم الآثار البريطاني وعالمة النبات موجودين العام1910 . وفي العاشرة من عمرها كانت تحصل على بلورات قامت بنفسها بتنميتها في المدرسة. واستخدمت طاقم تحليل للتربة أعطاه لها أحد أصدقاء والدها لتقيم معملا منزليا. عندما بلغت الخامسة عشرة العام 1925، أعطتها والدتها كتاب براج «عن طبيعة الأشياء»، فقرأت لأول مرة عن تقنية استخدام أشعة X في دراسة البلورات. وفي سن الثامنة عشرة رافقت والديها في رحلة للبحث عن الحفائر في فلسطين وكادت تستقر على اختيار علم الآثار لمستقبلها، لكنها عادت إلى أكسفورد للكيمياء والفيزياء.

حصلت على الدكتوراه وتزوجت (من متخصص في التاريخ) وعينت محاضرة في أكسفورد. عملت في مجال تعيين البنية ثلاثية الأبعاد للجزيئات البيولوجية ونشرت في العام 1949، بنية البنسلين، أما بنية فيتامين B12 فقد تطلبت تجميعا للبيانات من عدة باحثين على مدى ست سنوات، ثم استخدام الكمبيوتر ذي البطاقات المثقبة الذي كان جديدا في ذلك الوقت. واستغرق تعيين بنية الأنسولين 30 عاما من البحث.

تم تعيين بنية بلورات الفيروسات أخيرا بواسطة تقنية حيود أشعةX كذلك، لكن في بداية هذا العصر لم يكن يعرف أحد في الحقيقة ما الفيروسات. كان واحد من أوائل من أمسكوا بهذه المشكلة هو ويندل ستانلي، مع أنه يمكن القول إن المشكلة هي التي أمسكت به وليس العكس.

ويندل ستانلي

تخصص ستانلي في الكيمياء والرياضة في الكلية، لكنه كان متميزا في كرة القدم، وكان يخطط ليصبح مدربا. وبعد أن زار إحدى الجامعات بصحبة طالب آخر ومشاهدة الأجهزة والإمكانات قرر أن يكرس نفسه للكيمياء. وفي الثلاثينيات عندما كان ستانلي وزوجته ينتظران أول مولود لهما، شغل ستانلي منصب كيميائي في مشروع يتعلق بفيروس النبات. وكان على الأسرة أن تنتقل إلى مقر ريفي. كان عمله ينصب على فصل الفيروس، لكن لم يخبره أحد بكنه الشيء الذي عليه أن يفصله، هل هو كائن أم جزيء كبير

أم خليط كيميائي. وبعد عامين ونصف العام ومعالجة طن من أوراق التبغ تمكن من فصل ملء ملعقة شاي من بلورات فيروس التبغ الذي يشبه الفسيفساء. وقال إن هذا الفيروس عبارة عن جزيء بروتين عملاق يحيا عندما يدخل في خلية حية. التقطت وسائل الإعلام هذا الخبر لتعلن أنه اكتشاف للحلقة المفقودة بين المادة الحية والمادة غير الحية، وأصبح ستانلي من مشاهير الإعلام. وقد أثبت العلماء البريطانيون بعد ذلك أن بلورات ستانلي لم تكن نقية كما كان يعتقد: لقد كانت هناك أحماض نووية مع البروتين في البلورات، وهي التي تجعل من الفيروس مادة حية، لأن الأحماض النووية هي الخام الأول للحياة.

الأحماض النووية

إذا كانت الحياة هي المقدرة على التكاثر، إذن يصبح مفهوما السبب وراء اعتبار الأحماض النووية الخام الأساسي للحياة، والجزيئات التي تخزن وتنقل المعلومات الجينية (الوراثية) أثناء التكاثر هي الحمض الريبونووي منقوص الأكسجين دنا (DNA)، والحمض الريبونووي رنا (RNA).

وعندما تنقسم الخلية يتكاثر الدنا أولا أو ينسخ نفسه، ويلعب الدنا في الخلية الجديدة، كما كان في الخلية القديمة، دور القالب لبناء البروتين (وهي الوظيفة التي تعتمد على الحمض النووي الآخر الرنا).

وكل من الدنا والرنا بولمرات: والنيوكيتيدات هي وحدات المونمر لهما، وهي تتكون من ثلاثة أجزاء: مجموعة فوسفات وبنتوز (سكر ذو خمس ذرات كربون)، وقاعدة تحتوي على النيتروجين.

تختلف جزيئات الدنا في الحجم، لكنها قد تحتوي حتى 30 ألف زوج من القواعد، وهي أكبر الجزيئات الطبيعية جميعا. نحن نعلم اليوم أن البنية ثلاثية الأبعاد للدنا هي الحلزون المزدوج، وهو شكل يشبه سلما حلزونيا، وتكون فقرات السكر والفوسفات الدرابزين الخارجي بينما يتكون الدرج الداخلي من أزواج من القواعد المرتبطة بالأربطة الهيدروجينية. ومفتاح بنية الدنا ثلاثية الأبعاد المتفردة هو أن قواعد معينة فقط هي التي تتزاوج، وهذا «التزاوج بين القواعد» يفسر كذلك المقدرات الكامنة في دنا للتكاثر.

وكل ما كان معروفا عن الدنا في بداية القرن العشرين هو أنه بولمر. كان

بولنج (الذي التقيناه أول مرة في سياق حديثنا عن ميكانيكا الكم) مهتما بالبنية ثلاثية الأبعاد للدنا، وقد بدأ يعمل على حل هذه المشكلة قبل الحرب العالمية الثانية. وكأي إنسان آخر، انتزعته الحرب من عمله، فلم يعد له إلا في أواخر الأربعينيات. كان يأخذ قطعة من الورق قد رسم عليها سلسلة من الأحماض الأمينية المترابطة، ويلويها ليرى ما الذي يمكن عمله. كان يرى ترتيبا يشبه الياي أو الزنبرك (سمي فيما بعد باسم حلزون ألفا) يجيء بالأحماض الأمينية إلى مواضع مفضلة للربط الهيدروجيني.

طبق بولنج هذه الأفكار على الدنا، واقترح في 1953 بنية تحتوي على ثلاث ضفائر ملفوفة حول بعضها البعض. لم تكن هذه البنية صحيحة، لكن في ذلك الوقت كان بولنج صريحا في نقده لحكومة الولايات المتحدة فيما يتعلق بالتسليح النووي والتفجيرات النووية، وكان يعاني من مشاكل في استرجاع جواز سفره، لذا لم يتمكن من حضور كل اللقاءات العلمية الدولية التي كان يمكن أن يحضرها. وبالتحديد لم يشاهد بولنج بعض الأبحاث الطريفة حول استخدام أشعة X في دراسة الدنا، والتي كانت تجرى في إنجلترا بواسطة روزالين فرانكلين وموريس ويلكينس. لكن جيمس واطسون، دارس ما بعد الدكتوراه من الولايات المتحدة الأمريكية، شاهد ذلك.

جيمس واطسون وفرانسيس كريك

حصل جيمس واطسون على درجة الدكتوراه من جامعة إنديانا العام 1950، وكان في جامعة كامبريدج بإنجلترا عندما التقى بفرانسيس كريك الفيزيائي الحيوي، وكان له معه مناقشات مفيدة. وأثمرت هذه المناقشات في أبريل العام 1953 في نشر البنية الصحيحة للدنا. كان يمكن للقصة أن تنتهي هنا لولا مقولتان: إحداهما تنكر استخدام بيانات حيود أشعة X التي تخص روزالين فرانكلين، والأخرى تناقض الأولى.

ظهرت المقولة الأولى في صفحة إعلان اكتشاف واطسون وكريك:

وحتى الآن يمكننا القول إنها تتفق مع النتائج التجريبية، إلا أنه يجب اعتبارها غير مؤكدة حتى تفحص ببيانات أكثر دقة. وبعض هذه البيانات موجود في المقالات التالية. لم نكن نعلم بالتفاصيل والنتائج الموجودة هناك عندما بنينا النموذج الخاص بنا، والذي يقوم أساسا ـ وليس كليا ـ على البيانات التجريبية المنشورة والفكر الكيميائي الفراغي[5].

وكانت بيانات روزالين فرانكلين عن استخدام أشعة X إحدى هذه «المقالات التالية»[6]

وجاءت المقولة الثانية من موريس ويلكينس، وقد سُجلت في أثناء حوار له مع كاتب سيرة روزالين فرانكلين. قال ويلكينس:

ربما كان يجب عليَّ أن أحصل على إذن من روزالين [لأري واطسون نسق حيود أشعة X] ولكنني لم أفعل. كانت الأمور صعبة. فبعض الناس يقول إنني مخطئ كلية لأنني فعلت ذلك من دون إذن أو مشورة منها على الأقل، وربما كنت كذلك فعلا (لو كان هناك وضع يشبه الوضع الطبيعي ـ طلبت منها الإذن) عندي هذه الصورة، وفي الصورة يظهر الحلزون، لا يمكن أن تخطئه. لقد أريته لجيم وقلت له «انظر هاهو الحلزون، وهذه المرأة الملعونة لا تريد أن تراه»[7].

روزالين فرانكلين

انحدرت روزالين من أسرة موسرة متعلمة ولها نشاط سياسي. التحقت بمدرسة سانت بول للبنات بلندن، وتلقت تعليما متميزا في الكيمياء والفيزياء. والتحقت بكامبريدج العام 1938، حيث بقيت لاستكمال أبحاثها في الكيمياء الفيزيائية للفحم العام 1945. وجدت لنفسها عملا في معمل لحيود أشعة X في باريس، وهي التقنية التي لم يكن مضى عليها في ذلك الوقت إلا ثلاثون عاما فقط. ونظرا لإمكاناتها في هذه التقنية فقد حصلت على منحة أبحاث لمدة ثلاث سنوات في كلية الملك بلندن في قسم الفيزياء الحيوية المتكون حديثا. وكُلفت بناء جهاز أشعة X المطلوب لدراسة دنا.

لم يكن الجو المحيط بكلية الملك مناسبا متجانسا مثل باريس. فقد كانت هناك تفرقة رسمية بين الجنسين في قاعة الطعام والمجالات الاجتماعية، لكن ليس في المعامل. لم يكن هناك اعتراض على قبول أعضاء من ديانة روزالين نفسها، لكن أعدادهم كانت قليلة. وكان هناك صدام شخصي معروف وعليه براهين بين فرانكلين وأحد زملائها، موريس ويلكينس. كان ويلكينس يقول إن فرانكلين «قد اتخذت موقفا متعاليا من البداية»[8]، لكن هذه الخصائص نفسها وصفها رموند جوسلنج، طالب الدراسات العليا الذي كان متوافقا معها بشكل جيد: «كانت لا تطيق الأغبياء...»[9].

حصل ويلكينس وجوسلنج بالفعل على بعض البيانات عن دراسة الدنا بأشعة X. إلا أن فرانكلين حصلت على بيانات أفضل باستخدامها لأجهزة

وتقنية محسنة. وبالإضافة إلى ذلك اكتشفت روزالين الظروف التي تتحول بها بلورات الدنا إلى صورة أخرى مميهة تناسب التحليل بأشعة X، الأمر الذي زودها ببيانات إضافية. وقد قدمت نتائجها الأولية في جلسة غير رسمية في نوفمبر العام 1951. وكان واطسون حاضرا في هذه الجلسة، لكنه ظن أنها لم تتوصل إلى نتائج نهائية. وعلى الرغم من ادعاءات ويلكينس أنها أسقطت النموذج الحلزوني، إلا أنها كتبت في مذكراتها: «الاستنتاج: حلزون ضخم في عدة سلاسل، بمجموعات الفوسفات إلى الخارج...»[10].

وتكمن السخرية في أن فرانكلين قد قامت بتقديم نتائجها بشكل علني، لكن واطسون (باعترافه شخصيا)[11] لم يلق بالا لذلك. ولم يقتنع بالشكل الحلزوني إلا عندما أراه ويلكينس بشكل سري بيانات أشعة X الخاصة بفرانكلين و «سَلَّم بأن روزي (روزالين فرانكلين) قد ضربت ضربتها الصائبة في وضعها القواعد تجاه المركز بينما العمود الفقري للحلزون إلى الخارج...»[12].

وبالدرجة نفسها من سوء الحظ، كان تغاضي واطسون وكريك وويلكينس عن الاعتراف بمساهمة فرانكلين. وفي محاضرتهم المشتركة المكرسة لجائزة نوبل أوردوا 98 مرجعا دون أن يذكروا مرجعا واحدا مباشرا من أبحاث فرانكلين. كان هناك مرجع نصي واحد لويلكينس. وليس هناك شك في أصالة بصيرتهم وتفرد النموذج الذي قاموا ببنائه، ولم يكن لينتقص من تقديرهم أن يذكروا ما قامت به فرانكلين.

كتب واطسون كتابا بعنوان «الحلزون المزدوج» كشف فيه السر وراء المشكلة. قدم وصفا لفرانكلين خلوا من أي إطراء أو مديح، معترفا في حقد وضغينة بقدراتها كباحثة كيميائية، ولكنه أيضا اقترح عليها أن تفعل شيئا تجاه شعرها، ويصل إلى نتيجة «إن أفضل مكان للمدافعين عن المرأة هو معمل إنسان آخر»[13].

وقد علق الكيميائي الحيوي جوزيف فروتون على ذلك قائلا:

إن أول ما صدمني عندما قرأت «الحلزون المزدوج» هو أنه غير أخلاقي. والسرد غير الخجول لكفاح واطسون من أجل النجاح في الخمسينيات كان سيصبح أقل سوءا لو أنه اعترف بعد ذلك - بكرم - بأن ما وصل إليه هو وكريك إنما يرجع في أغلبه إلى الأبحاث المنشورة للعلماء الآخرين [14].

وكتب أندريه لوف:

إن الصورة التي رسمها واطسون لروزالين فرانكلين قاسية. وملاحظاته حول ملبسها وخلوها من الوسامة ليست مقبولة بالمرة. وفي أقل تقدير، كان لابد أن يكون متسامحا تجاه فرانكلين نظرا لحقيقة أن كل أبحاث كريك وواطسون تبدأ بصور أشعة X التي أنجزتها روزالين فرانكلين، وأن جيم قد استغل نتائج روزالين [15].

وعموما، يمكن ملاحظة أن مثل هذه التنافسات شائعة في جو الملاحقات، وربما كانت فرانكلين قد بدأت تعاني من أعراض مرضها الأخير (سرطان الأنسجة الليمفاوية الذي يرجع إلى تعرضها لأشعة X) الذي يتسم ببداية ومقدمة مطولة وماكرة من دون أعراض خاصة، عدا الشعور العام بأن المرء ليس على ما يرام[16]. وربما أصبح من الصعب عليها أن تعمل وهي في هذه الحالة.

وقد رفضت أي تعاون رسمي، ومن يدري؟ ربما ظلت تؤدي عملها ببراعة أمام خزانتها[17]، لكن، مهما كان السبب في أساسه: التنافس أو الجنس أو العرق أو مجرد الشخصية، فإن موضوع مساهمة فرانكلين قد أثير، وفي ذلك الحين كان «الحلزون المزدوج» قد كُتب وجائزة نوبل في الفسيولوجيا أو الطب تسلمها واطسون وكريك، وويلكينس، وماتت فرانكلين. ولا تمنح جائزة نوبل بعد الوفاة، وبذلك فليس معروفا كيف كانت لجنة نوبل ستزن الأمور في هذه الحالة.

استأنفت فرانكلين أبحاثها العام 1953، لكنها كانت قد انتقلت إلى موقع آخر في كلية بيرك بك في لندن. تعاون معها في ذلك الوقت شاب من جنوب أفريقيا هو آرون كلوج خلال السنوات الخمس التالية، ونشرا أكثر من 17 بحثا حول البنى المختلفة، وقد حصل كلوج على جائزة نوبل العام 1982 على أبحاثه. قررت فرانكلين أن تدرس فيروس شلل الأطفال العام 1956. وقد حذروها من خطر هذا الفيروس لأنه كان معديا بدرجة كبيرة، لكنها كانت تعلم بقرب وفاتها متأثرة بالسرطان ولم تخش عدوى شلل الأطفال.

استمرت البحوث في مجال الأحماض النووية. وتم التوصل إلى بنية ووظيفة الرنا وتحديد «شفرة التتابع في الحمض النووي»، التي تتحكم في

تخليق البروتينات. وبينما كان بعض العلماء يراقب الآلة العجيبة وهي تتحرك بخفوت داخل الخلية، كان آخرون يتساءلون عن السبب وراء بداية مثل هذا التتابع أولا. وسبق أن كتب تشارلز داروين العام 1871 في خطاب لصديق: «إذا تصورنا (ويالها من «إذا» عظيمة) بركة صغيرة دافئة تحتوي على كل أنواع النشادر وحمض الفوسفوريك... »[18]. وفي العام 1950 لم يقف الكيميائي الحيوي الأمريكي ستانلي ميلر عند حد التصور لهذه البركة، بل فعلها.

منابع الحياة

ترجع بداية التخمين عن أصل الحياة إلى الكتابات المبكرة، وهو موجود في معتقدات حضارات كثيرة. وقد بذل داروين محاولة علمية مبكرة لتفسيره، وقام العالم الروسي ألكسندر أوبارين في منتصف العشرينيات باختبار هذه المحاولة. أما في العام 1950، فقد أجرى طالب الدراسات العليا ستانلي ميلر ـ تحت إشراف هارولد يوري (الذي سنعود إليه مرة ثانية) ـ تجربة مرر فيها شرارة كهربية (تحاكي البرق) في مزيج من الماء والميثان والهيدروجين والأمونيا (محاكيا الغلاف الجوي للأرض منذ بلايين السنين)، فتكونت الأحماض الأمينية. وقام ليزلي أورجل بتجميد محلول مخفف من غاز سيانيد الهيدروجين والأمونيا والتى كان من المحتمل وجودها في جو الأرض الأولى. وأنتج الخليط الأدينين ـ وهو واحد من القواعد الأربع في الدنا ـ بعد عدة أيام. وقد قام سيدني فوكس (كيميائي حيوي آخر من الولايات المتحدة) بإنتاج بولمر يشبه البروتين، وذلك بتعريض خليط من الأحماض الأمينية لحرارة متوسطة. واكتشف أن هذه البولمرات كونت كريات دقيقة في المحلول المائي تحت ظروف معينة، وبمرور الوقت عمت هذه الكريات الدقيقة. وإذا كانت هذه تشبه البروتين فإنها لم تكن بروتينا، ومع كل التخمينات حول أصل الحياة، فإن الكيميائيين قد اكتشفوا أن تكاثر جزيئات الحياة لا يبشر بأن يكون أمرا سهلا مثل إمرار التيار من خلال حساء. لكنها معضلة تعد بأن تلهب حماس الجهود البحثية وتحركها لسنين عدة قادمة.

وهكذا من إلهام هنري فورد أن نمتطي آلة احتراق داخلي على أربعة

إطارات... جاء كل هذا الحماس لإنتاج المطاط الصناعي، ومن تخليق المطاط جاءت تقنية فصل خام الحياة. لكن المطاط لم يكن هو المطلب الوحيد الذي جاءت به السيارة. فالبترول مطلوب لتسيير السيارة. وقد طورت طرق كثيرة لاكتشاف وتنقية وإنتاج البترول في أثناء الحربين العالميتين.

وبحلول الحرب العالمية الثانية، قام عصر البترول بمواده الشائعة بتزويد تروس الكيمياء العضوية وغير العضوية بالشحم اللازم لها أيضا. وستأخذنا قصتنا في الجزء التالي إلى التقدم الذي حدث في هذه المجالات.

17

حوالى ١٩١٤ ـ ١٩٥٠ مواد وطرق جديدة: نمو الكيمياء العضوية وغير العضوية

- 1914 ـ 1951 الكيمياء العضوية
- الهيئة
- النظرية الإلكترونية للآليات العضوية
- نظرية الأوربيتالات الجزيئية
- أثيرات التاج
- 1934 ـ 1950 : الكيمياء غير العضوية

التخليق الكيميائي هو فن التصرف في المواد المعروفة لإنتاج مواد جديدة. كان الكيميائيون العضويون، عندما تركناهم آخر مرة، يتقدمون في اتجاه فهم بنية وأربطة الهيدروكربونات بشكل فعال، وكانوا يطورون طرقا للتخليق الكيميائي باستخدام هذا الفهم. وعندما غادرنا الكيميائيين غير العضويين آخر مرة كانوا أيضا يتقدمون بشكل فعال تجاه فهم بنية وأربطة المتراكبات غير العضوية، وكانوا يستخدمون هذا الفهم لتطوير طرق التخليق غير العضوي. جاء هذا الازدهار في أعقاب التقدم الذي جاء في النظريات في أواخر القرن التاسع عشر: البنى ثلاثية الأبعاد والتكافؤ. وفي القرن العشرين، وفي أعقاب ظهور نظرية الربط الجديدة ـ الكيمياء الكمية ـ ازدهرت مجالات التخليق.

قامت أجهزة التحليل الجديدة بتطوير طرق

دراسة البلورات بأشعة X قبل وأثناء الحرب العالمية الثانية، كما حسَّنت من أجهزة قياس الطيف وقياس قوة الأحماض[1]. كما ساهم تطور الكروماتوجرافيا (طريقة فصل المركبات الغازية أو السائلة بناءً على ذوبانيتها) وتطور مطياف الكتلة (طريقة لفصل الأيونات بناءً على كتلتها) في نمو هذه المجالات، الأمر الذي يشار إليه أحيانا بـ «ثورة الأجهزة»، كذلك دُفعت مجالات التخليق ونموها بواسطة إتاحة مواد بادئة من صديق قديم هو البترول.

تعتبر الرواسب البترولية أكثر ندرة من الفحم، لكنها كانت تبدو كافية إلى حد ما في بداية القرن العشرين. وقامت البحرية البريطانية بتحويل أسطولها ليعمل بالبترول بدل الفحم، متأكدة أن إمدادات البترول أساسا من الشرق الأوسط ستظل متاحة. كان المستفيدون لحظيا من حمام البترول هذا هم الكيميائيين العضويين وغير العضويين. وزودت صناعة البترول كلا من الأبحاث طويلة المدى والتطبيقات الصناعية المباشرة بالحافز اللازم. أنتجت هذه البحوث معلومات ونظريات أفادت منها عمليات الإنتاج الصناعي، الذي أفاد بدوره في تشجيع الأبحاث بعيدة المدى. وهكذا، وكما تمخض المطاط المطلوب لسيارة القيصر عن الكيمياء، كذلك فعل البترول اللازم للبحرية البريطانية.

وعندما فقد الألمان مصادر البترول (انقطعت المصادر البترولية من الشرق بانهيار الإمبراطورية العثمانية) أخذوا يبحثون في طرق إضافة الهيدروجين إلى الفحم لتحويل المصدر الصلب الكربوني إلى جازولين. واخترع الكيميائي الألماني فريدريك بيرجيوس - الذي كان على دراية بأبحاث أوزوالد وهابر - عملية لهدرجة حبيبات الفحم المفتتة جيدا في بداية العقد الثاني من القرن العشرين. تضمنت هذه العملية استخدام ضغوط مرتفعة، غير أن كارل بوش - الذي طبق طريقة هابر ذات الضغط العالي لتحضير الأمونيا في الصناعة - نفذ هذه العملية أيضا. ومع أن لجنة نوبل تعترف عادة بالأبحاث الأساسية أكثر من التطبيقية، إلا أنها قدمت الجائزة العام 1931 لكل من بوش وفريدريك بيرجيوس لتطويرهما طرق الضغط العالي في الصناعة. وعندما فقدت ألمانيا براءات اختراعها الصناعية نتيجة لمعاهدة فرساي وحطمت مصانعها، استطاع بوش أن يقنع الفرنسيين بأن يتركوا

مصنعه لإنتاج الأمونيا مقابل أن يساعدهم في بناء مصنع مماثل في فرنسا. وفي 1935، قرر هتلر أن يضرب عرض الحائط بمعاهدة فرساي ووضع هيرمان جيرنج مسؤولا عن إعادة تسليح الأمة. قام هتلر بتجنيد فاربن وبوش الذي أصبح على رأس شركة فاربن. كان بوش يستصعب سياسات هتلر المعادية للسامية بالتحديد عندما قام بفصل هابر، لكنه مثل الآخرين رأى أن ينحني للعاصفة لتبقى الأمة والشركة اللتان كرس لهما حياته سالمتين. وقد نُعي في العام 1940، دون أن يرى ما هو أسوأ. فقد أصبحت فاربن في ظل حكم النازي تعمل بالتنسيق مع الحكومة وتستخدم الأسرى من معسكرات الاعتقال كقوة عاملة[2].

وفي العشرينيات، قام الكيميائيان الألمانيان فرانس فيشر وهانز تروبش، من معهدالقيصر، بتحضير الجازولين من خليط من غازي أول أكسيد الكربون والهيدروجين والذي يسمى «الغاز المائي»، وهو يحضر بإمرار الهواء وبخار الماء على الفحم المسخن لدرجة الاحمرار. استخدما حافزا من أكسيد الحديد في درجات حرارة مرتفعة وضغوط متوسطة. وتقوم جنوب أفريقيا، البلد النائي عن مصادر البترول، بإنتاج الجازولين حاليا بطريقة فيشر ـ تروبش المعدلة. وقد أمنت ألمانيا إمداد الجازولين باستخدام أبحاث فيشر، غير أنه بنهاية الحرب العالمية الثانية لم يكن يسمح لفيشر بامتلاك سيارة. كانت ابنته وزوجها أسيري معسكر داتشاو للاعتقال وتعرض بيته للقصف[3].

كانت الولايات المتحدة تتمتع بإمداد مستقر من البترول الطبيعي. والبترول الطبيعي خليط من الهيدروكربونات التي في أغلبها سلاسل مستقيمة بأربطة أحادية (مشبعة). وبحلول العشرينيات طور الكيميائي جورج كورم من شيكاغو طريقة تعتمد على القوس الكهربي والتسخين لتكسير البترول وإنتاج الإيثيلين والبتروبيلين ومركبات هيدرو كربونية أخرى تحتوي على أربطة مزدوجة (غير مشبعة). استخدمت الهيدروكربونات المحتوية على أربطة مزدوجة ـ ولها فاعلية عالية ـ بعد ذلك لإنتاج أكسيد الإيثيلين والإيثيلين جليكول وثنائي كلورو الإيثان والكحول الإيثيلي ومواد أخرى لاستعمالها في تحضير الأدوية والصبغات والبولمرات وفي الكثير من التطبيقات الصناعية الأخرى. مضى الكيميائيون يرتادون آفاقا جديدة للإنتاج مسلحين بوفرة من المواد التي تمثل نقطة انطلاق.

كان فن التخليق الكيميائي يُشبَّه بالشطرنج، وكان كيميائي التخليق مطالبا بأن يعرف تفاعلات كل المركبات المستخدمة وأن يلم بمسارات التخليق التي يستخدمها الآخرون، تماما مثل لاعب الشطرنج الجيد الذي يعرف كيف يحرك القطع وعلى دراية بالمباريات التي سبقته. لكن كان أفضل كيميائيي التخليق هم الذين كونوا «استهلالات» خاصة بهم. كان الكيميائيون العضويون وغير العضويين، على قدم المساواة، هم أبطال المباراة، إلا أننا سنركز أولا على الكيميائيين العضويين.

1914 ـ 1951: الكيمياء العضوية

بحلول منتصف العقد الرابع من القرن العشرين أُسست مجلة الكيمياء العضوية الصادرة عن الجمعية الكيميائية الأمريكية. وكانت صفحاتها مملوءة بشكل روتيني بمسارات التفاعلات الجديدة أو بالتطبيقات الجديدة للتفاعلات المعروفة سابقا. ومع كل التراكمات المعرفية حول بدائل التخليق، كانت الحاجة مازالت قائمة من أجل نظرية أساسية تشرح النشاط الواضح. وكان لابد أن تجرى البحوث لاستيضاح بنية الجزيئات المتفاعلة ـ البنية ثلاثية الأبعاد، والبنية الإلكترونية ـ قبل اكتشاف هذه النظرية.

الهيئة

كانت خطوة مهمة للأمام قد أنجزت عندما تمكن لي بيل وفانت هوف من إقناع الكيميائيين بأن هناك بالفعل بنية ثلاثية الأبعاد للجزيئات، وأن هذه البنية ثلاثية الأبعاد يمكن أن توظف لتفسير سلوك فيزيائي ـ دوران الضوء المستقطب. غير أن الإشارة إلى وجود بنية ثلاثية الأبعاد ليست كإنشاء جزيئات لها ثلاثة أبعاد. وكان مازال هناك الكثير من الجزيئات التي تحتاج إلى تحديد بنيتها. وقد توصل الكيميائيون إلى جوهرة أخرى أثناء دراستهم للبنى ثلاثية الأبعاد: لا تؤثر البنية ثلاثية الأبعاد في «الخواص الفيزيائية» فقط ـ وهي الخواص التي تكتسبها المادة وهي مخزنة على الرف دون أن تتفاعل ـ بل أيضا تؤثر البنية ثلاثية الأبعاد في «الخواص الكيميائية» ـ وهي الخواص التي تظهرها المادة عندما تأخذها من الرف وتجعلها تتفاعل مع مادة أخرى. ألقت هذه الملاحظة الضوء أخيرا

على البنية الثلاثية لحلقات الكربون ذات الأربطة المفردة.

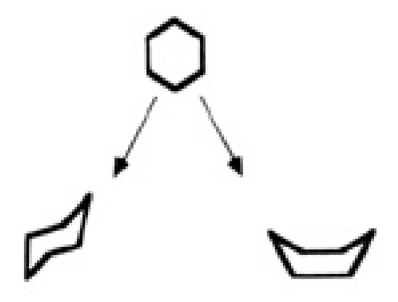
تولى باير (الكيميائي الألماني المتخصص في الكيمياء العضوية والذي التقينا به في سياق تخليقه للنيلة) هذه المشكلة في أواخر القرن التاسع عشر. أقنع باير نفسه باستخدام نماذج تفيد أن حلقات الهيدروكربون الخماسية والسداسية - والتي تتجه أربطتها إلى الأركان الأربعة في الشكل الرباعي على الأسطح - تكون مستوية في أكثر حالاتها أو هيئتها اقترابا من الطبيعة. وقد رسخ في الأذهان - وبناء على ما لباير من وزن - أن جميع الحلقات لابد أن تكون مستوية. أما الحلقات الأصغر أو الأكبر من ذلك فإنها ستعاني من شدة التوتر في الأربطة إذا ما أجبرت على أن تكون مستوية، ولذلك فقد كان الاعتقاد أنها لابد أن تكون غير مستوية. كانت نظرية باير عن «التوتر» - كما كانت تدعى - صالحة بعض الشيء في حالة الحلقات الصغرى الثلاثية أو الرباعية، لكنها - أي النظرية - كانت تتعرض لمشاكل عندما تتناول جميع الحلقات. وقد جاء أول تعديل للنظرية من أبحاث ليوبولد روزيتسكا.

ليوبولد روزيتسكا

ولد روزيتسكا في كرواتيا وكان ينوي أن يصبح قسيسا، غير أنه أبدى اهتماما بالعلوم والرياضيات وسافر إلى ألمانيا ليتلقى تعليما في هذه المجالات. عمل مع ستودينجر تلميذا له، لكنه فقد مكانه كتلميذ عندما طلب أن يقوم ببعض الأبحاث الخاصة بأفكاره هو. وأضحت هذه المشكلة مع ستودينجر صاحب النفوذ عقبة في طريقه بعض الشيء، غير أنه حصل في النهاية على وظيفة محاضر في جامعة زيوريخ. وكان سعيدا على الرغم من مرتبه الضئيل، لأنه حصل على فرصة للعمل لشركة عطور في جنيف إلى جوار عمله الأصلي. أجرى أبحاثه على خلاصات وأسس العطور المستخلصة من الحيوانات والنباتات. وقد مكنته هذه الأبحاث من الحصول على جائزة نوبل (على الرغم من أن الحرب العالمية أعاقته عن الوصول إلى ستوكهولم لتسلم الجائزة)، كما مكنته من إلقاء ظلال الشك على نظرية الحلقات لباير. كان باير يقول إن أي حلقة تزيد ذرات الكربون بينها على ست ذرات لابد أن تعاني من التوتر وتتلاشى على الأرجح. لكن مركبات

روزيتسكا كانت مستقرة وبها 15 و17 ذرة كربون في كل منها.

فسر روزيتسكا ذلك قائلا إن هذه الحلقات لا تمثل شذوذا، لأنه يمكن تخيلها كسلسلتين متوازيتين من ذرات الكربون متصلتين في نهايتيهما. غير أن كيميائيين آخرين أخذوا يقولون إن الحلقات الأصغر يمكن أن تتجنب التوتر في الحلقة إذا ما استبعدنا ضرورة استواء الحلقة. وبالتحديد، اقترح هيرمان ساكس في أواخر العقد الأول من القرن العشرين أن الحلقة السداسية (السيكلوهكسان أو الهكسان الحلقي) يمكن أن يتخذ شكل القارب حيث يتجه طرفا الحلقة مشيرين لأعلى، أو قد يتخذ شكل الكرسي حيث يشير أحد الطرفين لأعلى والآخر لأسفل (الشكل 1: 17). وتسمى هذه الترتيبات بهيئة الحلقة. وظل السؤال قائما عن أي هذه الهيئات يتخذه السيكلوهكسان إذا افترضنا أصلا أنه لابد أن يتخذ هيئة معينة. وقد تصدى لهذه المشكلة الكيميائي النرويجي أود هاسيل.



الشكل (1 : 17) حلقة سداسية (سيكلوهكسان) في هيئة كرسي(a) وفي هيئة قارب (b)

أود هاسيل

حصل هاسيل على درجة الدكتوراه من جامعة برلين، لكنه عاد إلى النرويج ليقوم بالتدريس. ترأس برنامجا للكيمياء الفيزيائية وطور إمكانات لدراسة البلورات بأشعة X مستخدما ميزانية ضئيلة. حشد هاسيل كذلك الأجهزة لدراسة حيود الإلكترونات بواسطة الجزيئات في الحالة الغازية، وهي تقنية متممة لحيود أشعة X في المواد الصلبة. وهي تزودنا بمعلومات عن أشكال الجزيئات. استخدم هاسيل هذه التقنية على مدى السنوات التالية ليثبت تجريبيا أن الحلقة السداسية تفضل هيئة الكرسي. وقد

توقف عن نشر أبحاثه في المجلات الألمانية عندما احتلت ألمانيا النرويج أثناء الحرب العالمية الثانية، واستمر ينشرها في مجلات نرويجية صغيرة محدودة الانتشار. أغلق الألمان الجامعة في نهاية المطاف واعتقلوا هاسيل وأساتذة آخرين، ولم يفرج عنه إلا العام 1944. وسرعان ماظهر أحد الطيور المبكرة من علماء الكيمياء البريطانيين الذي قدم أبحاث هاسيل بعد أن أجرى عليها بعض الإضافات.

ديريك هارولد ريتشارد بارتون

يستيقظ ديريك بارتون عادة في الثالثة صباحا ليقرأ، حيث يداوم الاطلاع على 15 مجلة. ويمتد يوم عمله من السابعة صباحا حتى السابعة مساء، مع فترة راحة لتناول الغذاء. وكان ابنه وليم بارتون يدير عملا خاصا به في الجراج، هو صنع ترابيس (مزاليج) حسب طلب الزبائن. ويروي أن اختياره لهذه المهنة كان بغرض تجنب حياة مثل حياة أبيه. كان الأب نفسه ثائرا متمردا نأى بنفسه وهو شاب عن أن يمتهن النجارة وهي مهنة الأسرة لأنه «بعد سنتين من قيامي بنصيبي من العمل اليدوي في مجال الأخشاب، شعرت بأنه لابد أن يوجد شيء ما أكثر جاذبية في الحياة»(4).

حصل بارتون على الدكتوراه أثناء الحرب العالمية الثانية، وفي العام 1949 كان يحل محل أحد الأساتذة في جامعة هارفارد لمدة عام عندما استمع إلى محاضرة من لويس فيزر(5). وكان فيزر قد ألف كتابا بمشاركة زوجته عن كيمياء الستيرويدات، وقد سرد فيزر أثناء المحاضرة قائمة من مشاكل الستيرويدات وفاعليتها والتي لم تحل بعد.

تكون الستيرويدات قسما مهما من المركبات الموجودة في الطبيعة والتي تقوم بأدوار حيوية مهمة: الكوليسترول من الاستيرويدات وكذلك هرمونات الجنس هي الأخرى من الستيرويدات. وقد كان الناس ـ وما زالوا ـ مهتمين بتخليق الاستيرويدات للأغراض الطبية (توقف استخدام الحبة التي تحكمت في المواليد على تخليق الاستيرويدات). لكن في ذلك الوقت كان الناس مرتبكين بخصوص بعض السلوك الكيميائي للاستيرويدات الذي لم يخضع للتفسير. وقد تحقق بارتون أثناء محاضرة فيزر من أنه يستطيع أن يفسر الفعالية الشاذة للاستيرويدات بناء على أبحاث هاسيل التي

كان مطلعا عليها بحكم ولعه بالقراءة.

تتكون الاستيرويدات من حلقات هيدرو كربونية متصلة عند حوافها، فإذا كانت الحلقات مستوية كما كان الاعتقاد، لكانت جميع المواضع على الحلقة متساوية في فعالياتها، ولما كان هناك مكان له فعالية مميزة. أما إذا كانت الحلقات لها هيئة الكرسي أو القارب، فإن بعض المواضع ستكون متاحة أكثر من غيرها، كما ستصير بعض زوايا الاقتراب أنجح من غيرها في إحداث التفاعل. وبيّن بارتون أنه يمكن تفسير الفعالية الخاصة بالاستيرويدات لو كانت في هيئة كرسي كما أثبت هاسيل في حالة السيكلوهكسان. كتب بارتون ملاحظاته في بحث قصير، وحصل بعد 20 عاما على جائزة نوبل بالمشاركة مع هاسيل.

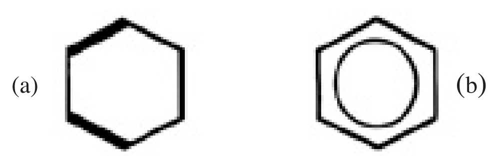
ذهب بارتون إلى كلية بيرك بك بعد أن غادر هارفارد، وهذه الكلية هي الوحيدة المسائية في جامعة لندن. وقد قال مبررا ذلك إن المرء يستطيع «أن يقوم بأبحاثه طوال اليوم ويدرس من 6 إلى 9 مساء، وهذا النظام رائع لإنجاز الأعمال، لكنه ليس كذلك بالنسبة للزوجات»[(6)]. (كانت روزالين فرانكلين قد انتقلت إلى كلية بيرك بك لأن كلية بيك يلتحق بها الطلاب غير المتفرغين، وبالتالي فهم يرغبون في التعليم فعلا. ويبدو أنها تجمع نسبة عالية من الأجانب أعضاء هيئة التدريس، وهي علامة طيبة، فلم تكن كلية الملك تضم أجانب أو يهودا[(7)]. ويقوم بارتون حاليا بالتدريس في جامعة تكساس A&M بالولايات المتحدة، ويداوم على إنجازاته في الكيمياء. وقد عاد إلى دراسة كيمياء الفوسفور بعد أن دار دورة كاملة عائدا من الحلقات السداسية.

وقد درست بنية البنزين، وهو حلقة أخرى للكربون كان لابد من استيضاح بنيتها ثلاثية الأبعاد في ذلك الوقت: وهو المركب الموجود بنسبة صغيرة لكنه عطري (أروماتي) في البترول. وهي حقيقة يعرفها كل من يملأ سيارته ويشم عندها رائحة مثل الجازولين. لم يكن البنزين مفهوما كليةً حتى بداية القرن العشرين، على الرغم من الأساس الذي وضعه كيكولي وتصوره للثعابين التى تلتف في دوائر. بينما كان الاعتقاد السائد هو أن البنزين مستوٍ، إلا أنه لم يكن هناك دليل مباشر على ذلك حتى ظهور أبحاث كاثلين لونسديل، وهي إحدى امرأتين كانتا أول من انتخبتا من النساء في الجمعية الملكية،

وكانت داعية سلام، أمضت شهرا في السجن لرفضها العمل في المجهود الحربي. توصلت لونسديل إلى حل لمشكلة بنية سداسي ميثيل البنزين بدراستها أشعة X، وبينت أنها مستوية ومتماثلة. لم تكن هناك مفاجأة في ذلك لأن البنية التى اقترحها كيكولي للبنزين كانت مستوية، لكن عندما بينت لونسديل أن الحلقة متماثلة تماما. فقد أوضحت أنه لاتوجد هناك ثلاثة أربطة مزدوجة واضحة في البنزين، بل تتوزع إلكترونات الربط بانتظام فوق الحلقة (راجع الشكل 2: 17). وقد قال كريستوفر كيلك إنجولد، الكيميائي العضوي المعروف، عن هذا البحث للونسديل: «تحقق مقالة واحدة مثل المقالة عن الكيمياء العضوية أكثر مما يفعله نشاط أجيال منا نحن المحترفين»[8].

النظرية الإلكترونية للآليات العضوية

كانت المشكلة التي شغلت المحترفين هي مقدرة مشتقات البنزين على التفاعل. وكانت هناك وفرة من البيانات ونتائج التجارب التي توضح كيف تميل المجموعات المختلفة لتعويض الهيدروجين في حلقة البنزين السداسية، معتمدة في ذلك على المعوضات الموجودة قبلها على الحلقة، ولم يكن هناك أساس منطقي لهذا السلوك. طرحت إحدى النظريات التي تقول بأن مواضع الكربون في حلقة البنزين تتبادل القطبية، غير أنه لم يكن هناك إلا القليل في مصلحة هذه النظرية، ولم يظهر البنزين أي سلوك قطبي آخر. وفي العشرينيات استخدمت نظرية لويس عن انقسام زوج الإلكترونات لتفسير المقدرة على التفاعل بنجاح أكثر. كان روبرت روبنسون وكريستوفر إنجولد مفيدين في تطبيق نظرية لويس. كانا شخصين متشابهين جدا في كونهما بريطانيين، وعالمين نظريين في الكيمياء العضوية، وكان الاثنان يتعاونان مع زوجتيهما. وكانا كذلك خصمين عنيفين كل منهما للآخر.



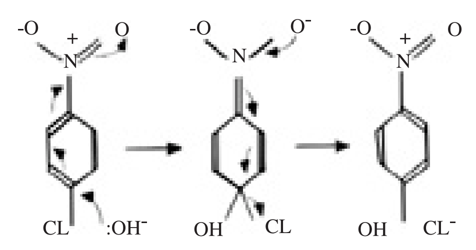
الشكل (2: 17) (a) البنزين كما تصوره كيكولي: حلقة سداسية بها ثلاثة أربطة مزدوجة؛ (b)

البنزين كما بينته تجارب لونسديل على حيود أشعة X: حلقة سداسية تنتشر كثافتها الإلكترونية بانتظام فوق الحلقة.

روبرت روبنسون وكريستوفر إنجولد

تحتوي حلقة البنزين على عدد كاف من الإلكترونات ليكون ستة أربطة أحادية بين ذرات الكربون الست وثلاثة أربطة مزدوجة، لكن أبحاث لونسديل بينت أن الإلكترونات تتوزع بانتظام حول الحلقة. ثم جاء روبنسون وقال إن هذه الإلكترونات تملك حرية حركة تسمح لها بالانتقال حيث تكون مطلوبة. استخدم روبنسون الأسهم ليشير إلى حركة ازدواج الإلكترونات (متبعا أفكار آرثر لابورث وباحثين آخرين) بالطريقة نفسها التي يتبعها مدربو كرة القدم لرسم طرق اللعب على السبورة أوخطط الجنرالات في تحريك القوات (راجع الشكل 17:3). وقد أثبتت هذه الطريقة أنها ذات قيمة في فهم التفاعلات العضوية مثل استخدام النقاط في التعبير عن البنية عند لويس لفهم الأربطة الجزيئية. تمكن روبنسون باستخدام هذه الطريقة من شرح تفاعلات البنزين المعروفة بتحريك الإلكترونات بطريقة مناسبة حول الحلقة.

جادل إنجولد في البداية ضد هذه النظرية، حتى إنه جاء ببعض النتائج التجريبية التي تتعارض ظاهريا معها. لكن روبنسون وآخرين أثبتوا أن نتائج تجارب إنجولد خاطئة، وأثناء هذه العملية زادوا من توضيح نظريتهم. وبدلا من التراجع المحمود الذي كان في محله، أصر إنجولد على رأيه واضعا نظريته الخاصة عن مقدرة البنزين على التفاعل. تضمنت نظرية إنجولد الإزاحة الإلكترونية، وبدت مألوفة أكثر من اللازم بالنسبة لروبنسون. اتهم روبنسون إنجولد بالانتحال، لكن في الحقيقة، كما اتضح فيما بعد، أن كثيرين قد افترضوا أن الفكرة الأصيلة جاءت من إنجولد، وقد أُهمل روبنسون في هذا السياق. منح روبنسون جائزة نوبل سنة 1947 على أبحاثه في مجال تخليق المنتجات الطبيعية، وليس على النظرية الإلكترونية للتفاعلات العضوية. وتم ترشيح إنجولد مرة واحدة لجائزة نوبل، لكنه لم يحصل عليها، وقد استمرت المعركة بينهما ولم يتوصلا إلى حل قط.



الشكل (3: 17) أوضح روبنسون كيف يمكن فهم مقدرة البنزين على التفاعل باستخدام إلكترونات حرة الحركة تتحرك حول حلقة البنزين، واستخدم الأسهم لبيان حركة الإلكترونات.

أنجز روبنسون إسهامات كبرى أخرى في مجال تنظيم التخليق العضوي. وربما ترجع هذه الميول إلى انجذابه الأصلي للرياضيات، «كنت أرغب حينئذ في أن أصبح متخصصا في الرياضيات، لكن رغبة والدي كانت واضحة، فقررت أن أتقبل قدري المحتوم لأصبح كيميائيا»[9]، (كان والده يدير مصنعا للتبييض ويحتاج إلى كيميائي أكثر من حاجته إلى عالم رياضيات). غير أن روبنسون حمل معه آلامه نتيجة عشقه للمنطق الرياضي، ووظفها في التخليق العضوي المركب (المعقد)، (أدخل طالبة الأبحاث التابعة لحاييم وايزمان من مانشستر إلى مجال آلامه لتصبح فيما بعد زوجته ومعاونته مدى الحياة، وكان اسمها جيرترود مود والش). أصبح «مأخوذا بجمال نظام الكيمياء العضوية»[10].

كان لهذا النظام جاذبيته حتى أن الكيميائيين الآخرين بحثوا في كيفية تطبيقه على تفسير المقدرة على التفاعل والتنبؤ بهذه التفاعلات الكيميائية. قام بولنج وجورج ويلاند بمحاولة في هذا الاتجاه: قالا إن مقدرة الجزيئات المختلفة النسبية على التفاعل يمكن تفسيرها بمدى استقرار وثبات متراكب التفاعل الذي يتكون في طريق إتمام التفاعل. حاول باحثون آخرون وجربوا مداخل أخرى، وبحلول الخمسينيات هدد تكاثر مقاييس التفاعلات بأن يفلت من تحكم الكيميائيين فيه. ثم جاء كينيتشي فوكوي من جامعة كيوتو العام 1952 ونشر مؤشره الخاص عن المقدرة على التفاعل مؤسسا آراءه على أبحاث موليكن وهوند، ويفيد بأن القدرة التفاعلية للجزيء في مجموعه يحددها لزوما شكل المداري «الأوربيتال» الجزيئي المحتوي على أعلى طاقة: نظرية تخوم الأوربيتالات للتفاعلات.

نظرية الأوربيتالات الجزيئية

كينيتشي فوكوي

يمكن أن نتصور الأوربيتالات الجزيئية على شكل «سحب» من الكثافة الإلكترونية لها شكل ومدى محددان. وتوجد الأوربيتالات على شكل أغلفة متتالية كالبصلة (ومع أنها مثل البصلة إلا أنها أحيانا تتداخل أو يلتف بعضها حول بعض) ويمكن حساب هذه الأوربيتالات الجزيئية ورسم صور لها[11]. كانت رؤية فوكوي أن أبعد الأوربيتالات عن النواة ـ الغلاف الأخير في البصلة ـ لابد أن يكن أكثرها أهمية في التفاعلات. ولنظرية تخوم الأوربيتالات للتفاعلات جاذبية حدسية ومقدرة على التنبؤ: يمكن رسم أعلى الأوربيتالات المشغولة طاقة على السبورة كما يمكن تصوير تداخل هذا الأوربيتال مع أقل الأوربيتالات غير المشغولة طاقة في المادة المتفاعلة. وعندما استخدم وودوارد وهوفمان تماثل أعلى الأوربيتالات المشغولة لتفسير مجموعة غامضة من نتائج التفاعلات لم تلق تفسيرا من قبل، فتحت نظرية تخوم الأوربيتالات تخوما جديدة.

روبرت بيرنس وودوارد وروالد هوفمان

حصل وودوارد على جائزة نوبل سنة 1965، ونظرة على أبحاثه لا تدع مجالا للشك في سبب حصوله على الجائزة، التي وعد في كلمته بمناسبة منحه إياها بمضاعفة العمل لتخليق سيفالوسبورين المضاد الحيوي، وأنجز وعده في الميعاد. وكان وودوارد يمثل نتاج نظام المدارس في بوسطن والأسرة المكونة من الأم فقط (مات أبوه وهو في الثانية من عمره). التحق بمعهد MIT وهو في السادسة عشرة بعد أن تخطى عدة مراحل مدرسية في طريقه. تجنب الفصول الدراسية مفضلا عليها المعمل والمكتبة، ولم يكن يظهر إلا لأداء الامتحانات. ولأن المناهج كانت تتطلب جزءا عمليا فقد تم فصله بعد عام ونصف. عندما سمح له بإعادة الالتحاق أنهى مناهج عامين في عام واحد وتخرج في سن 19 فقط.

مكث وودوارد في MIT للحصول على درجة الدكتوراه، وحصل عليها بعد عام واحد فقط. عمل لمدة صيف واحد في جامعة إلينوى ثم قبل وظيفة في هارفارد حيث أصبح أستاذا في سن 33 سنة. سمح له بتجنب

الطلاب في مرحلة البكالوريوس وأعطوه فقط طلاب البحث وظل في هارفارد يجري أبحاثه حتى آخر العمر. كان متباهيا ومتفاخرا إلى حدٍّ ما، يرتدي دائما حلة زرقاء داكنة ورباط عنق أزرق فاتحا، ويقود سيارة مرسيدس بنز زرقاء ودهان مكتبة أزرق اللون. (قام طلابه بدهان المكان الذي يترك فيه سيارته باللون الأزرق وصنعوا مقعدا أزرق لسيارته وقدموه له في عيد ميلاده الواحد والستين). كانت تمتد محاضراته لمدة أربع أو خمس ساعات ويرسم أثناء ذلك بنى كيميائية دقيقة على السبورة، وكان ينهي محاضرته دائما مع آخر بوصة متاحة من السبورة. وكان يعمل أحيانا على مدى 16 ساعة دون اعتبار للإجازات.

كان وودوارد على دراية فائقة بالمراجع، وكان يستخدم رصيده من وسائل التخليق في تخليقه (ضمن أشياء أخرى) الكينين والكوليسترول والكورتيزون وحمض الليسارجيك (أساس الدواء سيئ السمعة LSD ـ دواء الهلوسة) والستركينين والرسربين والكلورفيل والتتراسيكلين وفيتامين B12. كانت جائزة نوبل «لمساهماته في فن التخليق الكيميائي»[12]. (تخصصنا نفسه).

لاحظ وودوارد أثناء إجراء تخليق كيميائي معين بالحرارة أنه قد تكون منتج واحد فقط من اثنين محتملين. فناقش هذه المسألة مع روالد هوفمان ـ اللاجئ السياسي من بولندا ـ الذي يكمل بعض أبحاثه في الكيمياء النظرية في هارفارد (تخلى عن الكيمياء التجريبية بعد أن غمر بصبغة زرقاء جدران معمل جديد). استطاع الاثنان التوصل إلى قواعد وودوارد ـ هوفمان، والتي تستخدم انتظام أو تماثل الأوربيتالات الجزيئية على التخوم للتنبؤ بعائد تفاعلات ضوئية وحرارية معينة. لم تقدم قواعد وودوارد ـ هوفمان فقط تفسيرا للأكداس المتراكمة من النتائج التي لم يكن لها تفسير فقط، بل اقترحت مسارات جديدة للتفاعلات. جاءت هذه البحوث لهوفمان بجائزة نوبل، وربما كانت ستجلب لوودوارد جائزة نوبل الثانية لو لم يُتَوَفَّ وهو في الثانية والستين.

وهكذا، نرى في أعمال هوفمان وودوارد المدى الذي وصل إليه الكيميائيون العضويون في قيادتهم لأوركسترا التفاعلات ـ وحتى نختتم مناقشاتنا حول الكيمياء العضوية التخليقية في هذه الفترة، سنتعرض الآن للتاج. وأكثر الظواهر روعة في مسيرة التقدم الذي صنعته الكيمياء العضوية

خلال هذه الفترة وكان اكتشاف تشارلز بيدرسون ـ أثيرات التاج.

أثيرات التاج

وتسمى أثيرات التاج بهذا الاسم لأنها من نوع الأثير ـ مركبات تحتوي على نظام الربط كربون ـ أكسجين ـ كربون. وتوجد في شكل دائرة متعرجة يتبادل فيها الكربون والأكسجين رؤوس وتجويفات التعريج. كان مكتشف هذه المواد جوهرة حقيقية. فمن كلماته عن نفسه:

لنتخيل التسلسل الآتي من الأحداث حوالى سنة 1900: مهندس من النرويج يقرر أن يسافر نصف العالم إلى كوريا حيث يعمل في منجم للذهب. وأسرة يابانية تعاني من عثرات مالية في اليابان، فتقرر أن ترحل إلى كوريا حيث انتعش السوق. بدأ الأخ من هذه الأسرة عملا بجوار المنجم. والأخت تلتقي بالمهندس النرويجي فيتزوجان. وبعد عدة سنوات سافر ابنهما إلى الولايات المتحدة للتعليم، فيصبح كيميائيا ويحصل على جائزة نوبل[13].

تشارلز بيدرسون

لم يكن تشارلز بيدرسون مقيدا بالتقاليد، وربما يكون ذلك بسبب نشأته غير التقليدية. فهو لم يحصل على الدكتوراه، بل توقف عند درجة الماجستير لأنه لم يرغب في أن يحمل أسرته أعباء مالية. عمل كيميائيا في الصناعة عند ديبون، لكنه ظل ملتزما بالبحث، الأمر الذي لم يكن عاديا بالنسبة لشخص لايحمل الدكتوراه. قام بنشر البحث ـ الذي حصل به لاحقا على جائزة نوبل ـ عندما كان عمره 63 عاما، وتقاعد بعد عامين، ثم انتظر 18 عاما أخرى قبل أن تمنح له جائزة نوبل وهو في الثالثة والثمانين.

تتمثل منفعة أثيرات التاج والجديد فيها في استطاعتها أن تكون متراكبات مع أيونات الفلزات: يتخذ أيون الفلز لنفسه موضعا في تجويف مركز حلقة التاج، وإلى حد ما يمكن إخضاع أثيرات التاج لترتبط بفلزات مختلفة منتقاة حسب الطلب. ولأنها ترتبط بنائيا بالجزيئات الحيوية التي تربط أيونات الفلزات، فإن أثيرات التاج تستخدم لنمذجة هذه الأنظمة البيولوجية. وقد استخدمت أثيرات التاج لحمل أيونات الفلزات إلى المذيبات العضوية ـ حيث لا تذوب في هذه المذيبات في الظروف العادية ـ فاتحة بذلك

مسارات عديدة لتخليقات كان يمكن أن تحدث أو كانت تحدث بصعوبة بالغة. ويمكن استخدام هذه الأثيرات لاستخلاص الفلزات من المذيبات العضوية، وفي الحقيقة كانت هذه هي الكيفية التي اكتُشفت بها. لقد قلنا في بداية هذا الفصل إن أبحاث البترول كانت هي الملهمة للتقدم في مجال التخليق: وقد اكتشف بيدرسون أثيرات التاج عندما كان يبحث ـ لا تتعجبوا ـ في طرق تنقية الجازولين من الفلزات.

لكن، وكما تشير أبحاث بيدرسون حول أثيرات التاج، فإن الفضل يرجع إلى كيمياء البترول أكثر منه إلى الكيمياء العضوية. وتحتوي المواد المستخلصة من التربة والمستخلصة من المواد الحية ـ والتي اعتدنا تسميتها بالمواد الحية ـ على الفلزات المرتبطة معها. والفلزات من مجال اختصاص الكيميائيين غير العضويين، وقد قدمت كيمياء البترول إلهامها في هذا المجال أيضا.

1934 ـ 1950: الكيمياء غير العضوية

كان اكتشاف توماس ميدجلي أن رباعي إيثيل الرصاص يساعد على احتراق الجازولين بنعومة وسلاسة ويوقف خبطات الآلة التي يسببها الاشتعال السابق للأوان. كان ذلك أول ارتباط للكيمياء غير العضوية بصناعة البترول. اكتشف ميدجلي كذلك أن ثنائي كلورو ثنائي فلورو الميثان ـ والذي سمي فيما بعد بالفريون ـ عامل مبرد ذو كفاءة عالية غير سام، الأمر الذي جعل منه إما بطلا صناعيا مرتين، أو نذلا بيئيا مرتين، تبعا لوجهة نظرك. وقد أدت نجاحات نظريات الربط الجديدة في تفسير البنية وطيف المتراكبات غير العضوية إلى إعادة بعث الاهتمام بتكونها وتفاعلاتها. حدث تلكؤ في النشاط بعد أن حصل فيرنر على جائزة نوبل سنة 1913، وبلغ مدى الفجوة 60 عاما قبل أن تمنح نوبل مرة أخرى في مجال الكيمياء غير العضوية. وعندما حدث ذلك، ذهبت الجائزة إلى جيفري ويلكنسون وإرنست أوتو فيشر لأبحاثهما عن الفيرُّوسين، وهو أول شطيرة (ساندويتش) عبارة عن مركب من ذرة فلز بين حلقتي هيدروكربون.

الفيرُّوسين

كان ويلكنسون كيميائيا إنجليزيا عمل في مشروع القنبلة الذرية الكندية

أثناء الحرب العالمية الثانية. وبعد الحرب العالمية الثانية، وفي الخمسينيات، كان أستاذا مساعدا في هارفارد يقوم بتدريس الكيمياء غير العضوية. وأثناء قراءته في المجلات العلمية الكيميائية بعد ظهر أحد الأيام، وقع على مقالة تصف مركبا غير عضوي جديدا ونشطا جدا، له ذرة حديد مركزية وحلقتان خماسيتان من هيدروكربون مرتبطتان به على شكل ليجاند. كانت البنية المذكورة في المقالة خطية، إلا أن ويلكنسون كان يرى أن البنية المذكورة لايمكن أن تؤدي إلى درجة الاستقرار والثبات المذكورة. أعاد ويلكنسون رسم البنية واضعا نواة ذرة الحديد في ساندويتش بين حلقتين، فوجد أن هذه البنية تسمح بالتداخل بين أوربيتيالات الأربطة المزدوجة على الحلقة وأوربيتالات d في الحديد. كانت هناك تخمينات واستنتاجات من هذا النوع من الربط، لكن لم تكن هناك أمثلة حتى الآن. اتضح أن صديق ويلكنسون (وصديقنا) وودوارد قد شاهد أيضا هذه المقالة وتوصل إلى الاستنتاج نفسه، ولذلك فقد اتفقا على التعاون فيما بينهما في البحث. وتم اقتراح اسم فيروسين بواسطة طالب دراسات عليا اسمه مارك ويتنج، وكان يقصد بذلك الإشارة إلى درجة الثبات الخاصة لهذه المركبات مشابهة في ذلك ثبات البنزين.

ولمركبات الساندويتش أهمية أساسية بالنسبة للكيميائيين نظرا للربط المتفرد فيها: ترتبط أوربيتالات أيون الفلز مع أوربيتالات الهيدروكربون المنتشرة على حلقة الهيدروكربون. وإحدى النتائج المدهشة لهذا النوع من الربط هي إعادة الترتيب السريعة داخل الجزيء والتي وصفت أول ما وصفت بأنها «طنين الحلقة»[14]. ويعرف اليوم هذا السلوك باسم «التغير المستمر»، وقد تمت ملاحظته أول مرة في الفيروسين. وفيما بعد، تبين أن مركب التنجستين الذي به أربع أنوية تنجستين في حلقة متصل بأربطة مزدوجة ومفردة، يعاني من إزاحة سريعة في الأربطة المزدوجة والمفردة. أصبحت حركة التغير المستمر تعرف باسم خلطة بلومنجتون، لأنها وصفت أول مرة في بلومنجتون بولاية إنديانا[15].

لا يحتوي جزيء التنجستين على كربون، الأمر الذي يشير إلى أنه ليست كل الكيمياء غير العضوية كيمياء عضوية فلزية أي ليس من الضروري أن تتضمن الكربون. وفي الحقيقة هناك الكثير من الكيمياء غير العضوية

الذي لا يتضمن حتى فلزات. وهناك مجموعة كاملة من اللافلزات التي تشكل قسما من العناصر على يمين الجدول الدوري ـ وتسمى المجموعة الرئيسية للعناصر ـ كلها لافلزات (ماعدا تلك الموجودة في السلم المتكون من الألومنيوم والجرمانيوم والأنتيمون والبولونيوم) أو على يساره، وهي الأخرى عناصر لها كيمياء مدهشة ما زالت محل اكتشاف حتى الآن.

فإذا أخذنا البورون على سبيل المثال، نجد أن له نفس الأوربيتالات المتاحة مثل الكربون لكن ينقصه إلكترون واحد ليساهم في الأربطة، وقد اتضح أنه يكون جزيئات فيها مركزان للبورون متصلان بواسطة قنطرة هيدروجينية. فينتهك ذلك سلوك الرباط الأحادي الذي يبديه الهيدروجين في مركبات الكربون (ويمكن أن يكون بمنزلة صدمة صغيرة للطلاب الذين مُلئت رؤوسهم بهذه القاعدة). وتقوم هذه المركبات الطريفة بكل أنواع الألاعيب، بما في ذلك تكوين بولمرات غير عضوية، والتي كانت قد اكتشفت كذلك في ارتباط البورون بالفوسفور، والألومنيوم بالنيتروجين، والسيليكون بالفوسفور، والسيليكون بالأكسجين. اقتحم الكيميائيون غير العضويين كيمياء الغازات النبيلة أيضا. وقد كانت هذه العناصر معروفة لفترة بأنها خاملة تماما، إلا أنه في بداية الستينيات تمكن نيل بارتليت من أكسدة غاز الزينون ليتكون مركب الزينون مع فلوريد البلاتينيوم، وهو جامد أصفر اللون، وذلك في أثناء دراسته لخواص سادس فلوريد اليورانيوم، وهو عامل مؤكسد في غاية القوة. وفيما بعد، تبين أن الكربتون ـ ومن المحتمل أيضا الرادون ـ لهما تفاعلات كيميائية مع الهالوجينات. ولا يمكن أن ننكر أن الكثير من هذه المواد اللافلزية ذات أهمية عملية ونظرية، إلا أن الأهمية الكبرى تستأثر بها متراكبات الفلزات. ولعل واحدا من أسباب ذلك هو دورها في المواد الحيوية. وتتواجد أنظمة الفلزات والليجاندات في الفيتامينات والإنزيمات المساعدة الأخرى، وفي الهيموجلوبين وفي أدوية العلاج الكيميائي مثل دواء علاج السرطان سيسبلاتين. منحت جائزة نوبل العام 1983 لهنري تاوبي على أبحاثه حول آليات التفاعلات غير العضوية، متزعما بذلك غزو مجال الكيمياء غير العضوية الفيزيائية.

وهكذا يبدو أن الكيمياء غير العضوية قد نمت قليلا منذ اختراع رابع إيثيل الرصاص لاستخدامه في الجازولين كمضاد للخبطات. وفي الحقيقة،

قامت اقتصادات وصناعات بل وحتى ثقافات حول استخدام البترول. استمرت هذه العملية تسير بسلاسة بعد الحرب العالمية الثانية حتى حدثت أول موجة صدمة في السبعينيات. أُسس اتحاد لمنتجي البترول من بين دول الشرق الأوسط وارتفع سعر البرميل كالصاروخ من 3 دولارات إلى 40. ومع ارتفاع سعر البترول تحقق الجميع من أن إمدادات البترول ليست بلا نهاية، وأن احتياطاته يمكن أن تنضب في المستقبل المنظور.

لكن لحسن الحظ لا يمثل البترول المخزون العضوي الوحيد، فالكيميائيون يتدارسون البدائل. ومن حسن الحظ أيضا أن بعض الأبحاث الأساسية في هذا المجال قد أنجزت بالفعل في بداية القرن العشرين بواسطة جورج واشنطن كارفير.

البيوماس (الكتلة الحية)

جورج واشنطن كارفير

ولد كارفير في ميسوري العام 1864 لأبوين عبدين، وقد اختُطفت أمه بواسطة أشقياء الليل عندما كان عمره شهرين فقط. افتداه مالكه الأصلي بحصان، لكن لم يعثر لأمه على أثر بعد ذلك. غادر المزرعة التي ولد فيها في سن 10 سنوات وسافر إلى كانساس حيث يمكنه شق طريقه في المدرسة. تخرج من كلية آيوا الحكومية للزراعة والميكانيكا في سن 30 سنة. التحق بالكلية ليواصل أبحاثه في علم النبات. ثم أصبح مديرا لقسم بحوث الزراعة في معهد توسكيجي الصناعي (اسمه الآن معهد توسكيجي)، حيث استطاع الحصول على حوالى 300 منتج من الفول السوداني بما في ذلك الحبر والصابون والزيوت، وكذلك بدائل للدقيق والزبد والجبن والقهوة. أصبحت زراعة الفول السوداني في الولايات الجنوبية مربحة لدرجة أنها تمكنت من تمويل الطريق لأحد رؤساء الولايات المتحدة. وقد حصل كارفير من البطاطا الحلوة على أكثر من مائة مادة مفيدة منها ورنيش للأحذية وعجينة لاصقة للكتب والخل والنشا وسكر النبات. قام بصنع رخام صناعي من الطماطم والفاصوليا والهندباء البرية والبصل والأشجار والصلصال. كانت المواد التي استخدمها كارفير هي المعروفة باسم الكتلة الحية أو البيوماس، وهي مصدر للمواد العضوية. وقد نجد أنفسنا نبحث وننقب عن كل عمليات

كارفير لنلقي عليها نظرة أخرى، إذا ما أصبح القيام بها عملية اقتصادية في حالة نضوب البترول.

وهكذا، يواصل البترول دوره كملهم للكيمياء التخليقية، للدرجة التي يتم تخليق بديل للبترول نفسه في هذا السياق، ويتوافق ذلك مع النسق الذي رأيناه حتى الآن: مزيد من التقدم في الكيمياء العضوية وغير العضوية في أثناء هذه الفترة قد جاء من القوة الدافعة لصناعة البترول. لكن الرغبة في فهم الطبيعة الأساسية للمواد ومقدرتها على التفاعل ساهمت هي الأخرى في تطوير نتائج التجارب والمنتجات والنظريات. وهناك في الحقيقة فئة من الكيميائيين اختارت أن تركز على نظرية الكيمياء ـ فيزياء الكيمياء ـ ويطلق على أعضاء هذا التخصص المزدوج اسم الكيميائيين الفيزيائيين. وقد التقينا مسبقا ببعض المجالات التي تقع في حدود اهتمامات الكيميائيين الفيزيائيين - الديناميكا الحرارية، وميكانيكا الكم، والميكانيكا الإحصائية. وبينما تتنبأ الميكانيكا الحرارية بإمكان حدوث التفاعل من عدمه، وتساعدنا ميكانيكا الكم والميكانيكا الإحصائية الحرارية في معرفة كيفية حدوثه، نجد أنه لا شيء قد ذكر حتى الآن حول السرعة التي يحدث بها التفاعل. ويمكن إدراك أهمية سرعة التفاعل ـ معدل التفاعل ـ من المثال الوحيد الآتي: الجرافيت أثبت من الماس بناء على حسابات الديناميكا الحرارية، ولذا فإن كل الماس سيتحول في النهاية إلى جرافيت. لكن إذا حدث ذلك، أي تحول الماس إلى جرافيت بشكل روتيني (بمعدل معقول) فإن اقتصادات أمم عدة ستنهار (وستفسخ بلا شك عدة خطوبات قبل أن يتم الزواج). وسنعيد تأكيد أهمية معدل التفاعل باستخدام مثال آخر: تحت ظروف معينة يتم التحكم فيها (داخل خلية كهروكيميائية) يحدث تفاعل الهيدروجين مع الأكسجين، وينتج الماء بمعدل تحت السيطرة، ويمكن بذلك استغلال طاقته، وفي المقابل كان انفجار مكوك الفضاء تشالنجر مجرد تفاعل الهيدروجين مع الأكسجين دون تحكم أو سيطرة. وتسمى دراسة معدلات التفاعل «كيناتيكا الكيمياء»، وسنفحص هذه المنطقة من الكيمياء الفيزيائية في فصلنا القادم.

18

حوالى ١٩١٤ ـ ١٩٥٠
الكيناتيكا الكيميائية : ازدهار أم انحدار

- لودفيج فرديناند ويلهلمي
- أوجوستوس جورج ووليم إيسون
- ماكس بودنشتاين
- هنري آيرينج
- ثرموديناميكا عدم التوازن

ضرب تاريخ الكيناتيكا الكيميائية بعيدا في الماضي، على الرغم من أنها علم عاش معظم حياته في القرن العشرين. يفتتح والتر مور المناقشة حول معدلات التفاعلات في كتابه التقليدي «الكيمياء الفيزيائية» بمقولة للكيميائي دانييل سينيرت العام 1660 :

> لا تستطيع العناصر أن تكون أجساما ممتزجة إلا إذا تداخلت في بعضها... [لكن] لا [تستطيع] أن تتداخل في بعضها إلا إذا أثرت في بعضها بقسوة... ولا [تستطيع] أن تؤثر بقسوة إلا إذا تلامست ، [ولذا] علينا أن نتحدث قليلا أولا عن التلامس، والفعل، والمعاناة والتفاعل(1) .

والمقولة صحيحة. وفي نهاية القرن أصبح الكثير مفهوما حول ميل التفاعلات الكيميائية للحدوث، وأنواع الروابط الكيميائية التي تتكون عندما تحدث، وخواص المواد المتكونة. لكن لم يكن الكثير معروفا عن «معاناة» سينيرت ـ أي عن كيفية حدوث هذه التفاعلات، في لحظة الحدوث بالضبط. وقد كانت الصعوبة وما زالت في كوننا لا نستطيع حضور

ومشاهدة التفاعل الكيميائي على المستوى الجزيئي. وأفضل ما يمكننا إنجازه هو متابعة نتائج التفاعلات الكيميائية الكثيرة (في كل جسم التفاعل) للجزيئات، ومن سلوك هذا الجسم نحاول التعرف على ما يحدث على مستوى جزيء مع جزيء. وقد اتضح أن أفضل ما نملك في هذا الصدد هو مقدرتنا على قياس معدلات التفاعلات الكيميائية، أي سرعاتها ـ وهو موضوع الكيناتيكا الكيميائية.

ويسمى المنطق الذي يتناول كيفية حدوث التفاعل ـ أي كيف تلتقي الجزيئات وكيف تتكون وتتكسر الأربطة وكيف تتباعد ـ باسم «آلية» التفاعل، وهو التزاوج الذي يصعب علينا مشاهدته. غير أن قياس الزمن الذي يستغرقه حدوث التفاعل يزودنا ببعض حلول لهذه المعضلة. فمثلا إذا كان التفاعل يتطلب أن يتلاقى جسمان فقط فسيكون له معدل معين. وإذا تطلب الأمر التقاء ثلاثة أجسام معا (تفاعل على شكل لجنة) فسيكون له معدل آخر ـ عادة أبطأ. وفي الكيناتيكا يعتبر اتجاه الاقتراب في أهمية سرعة الاقتراب: على الأجسام المتفاعلة أن تلتقي بتوجه خاص (رأسا لرأس أو بالجنب) الأمر الذي يؤثر في المعدل. وإذا كان لا بد أن يكون للمتفاعلات في أثناء التقائها حد أدنى من الطاقة لتؤثر في التفاعل المطلوب، فإن مستوى الطاقة سيؤثر كذلك في المعدل. وهكذا يمكن أن يفصح قياس المعدل العام للتفاعل عن الكثير من المعلومات حول ما يحدث على المستوى الجزيئي، لكنه لا يقول كل شيء. ويجب أن نتذكر أن قياس المعدل العام يساعد في افتراض بعض الاحتمالات ـ وربما في استبعاد القليل منها ـ لكنه لا يقيم الدليل على آلية معينة. ومن أجل التوصل إلى ذلك لا بد لنا أن ننكمش إلى مستوى الجزيئات لنتواءم معها.

كانت الاحتمالات دائما مغرية للكيميائيين حتى إن ثينارد كان يحاول قياس معدل التفاعل الكيميائي في بداية القرن التاسع عشر. لكن القياسات التي أجراها لودفيج ويلهلمي في العام 1850 تقريبا كانت كمية بشكل أكثر: كانت الكمية التي قاسها هي مقدرة السكر على دوران الضوء المستقطب.

لودفيج فرديناند ويلهلمي

كان من المعروف أن محلول (سكر القصب) يتحول ببطء إلى جلوكوز

وفركتوز في وجود الأحماض. وقد اكتشف ويلهلمي ـ المولود في منطقة أصبحت تابعة لبولندا الآن ـ أن المعدل الأولي للتفاعل يتناسب مع تركيز كل من السكر والحمض.

كان التعامل مع المعدل الأولي تبسيطا مهما للمشكلة، فالتفاعل الكيميائي يبدأ بجميع المتفاعلات ـ ولا نواتج ـ ولذلك فهو يبدأ بمعدلات جيدة. لكنه مثل الكرة التي تنحدر نازلة من الجبل، فإنها تفقد سرعتها بالتدريج كلما قلت درجة انحدار الجبل. وتؤدي عملية تراكم النواتج في التفاعل الكيميائي إلى بطء التفاعل الأمامي لأن وجود النواتج يعني وجود التفاعل العكسي (لنسترجع مشاهدات بيرثوليت حول شواطئ بحيرة النطرون في مصر: إذا تفاعل A مع B ليكونا C وD فإن في استطاعة C وD أن يكونا A وB)، ولأن تركيز المتفاعلات في البداية عال جدا فإن المعدل الأولي لا يتأثر بشكل ملحوظ بالكمية المستهلكة من المتفاعلات. ولأن تركيز النواتج في بداية التفاعل ضئيل جدا، فإن المعدل الأولي لايتأثر بشكل واضح. وهكذا يصبح المعدل الأولي للتفاعل هو أفضل مقياس لمعدل التفاعل الأمامي.

وجد ويلهلمي تعبيرا رياضيا للمعدل، لكنه تقاعد تاركا بحوث الكيمياء. ظلت أبحاث ويلهلمي حبيسة لمدة 30 عاما حتى لفتت انتباه أوزوالد فقدمها وشرحها. وكان هناك آخرون مهتمون بالمعدلات التي تحدث بها التفاعلات الكيميائية، وقد أنجز الفريق المكون من هاركورت وإيسون تقدما ملحوظا في هذا المجال حوالى العام 1865.

أوجوستوس جورج فيرنون هاركورت ووليم إيسون

كان الكيميائي البريطاني هاركورت مدرسا للكيمياء في جامعة أكسفورد، وكان خبيرا في إجراء التجارب لكنه كان لا يعرف إلا القليل في الرياضيات. طلب مساعدة عالم الرياضيات إيسون لأن معادلات المعدل معادلات تفاضلية ـ معادلات ميل ـ وهي تخضع لمعالجة علم التفاضل والتكامل. وقد توصل الاثنان معا إلى طرق لمعالجة معدلات التفاعل هي في الأساس الطرق نفسها المتبعة حتى اليوم.

استكمل فانت هوف نتائج هاركورت وإيسون، وكتب رسالة مهمة في الكيناتيكا الكيميائية في الثمانينيات من القرن التاسع عشر. وقد اقترح

فانت هوف ـ بالإضافة إلى مناقشة النتائج التجريبية ـ العديد من المعادلات التي تبين أن هذه المعدلات تعتمد على درجة الحرارة. وقد طور أرهينيوس ووسع في مجال استخدام إحدى هذه المعادلات التي أصبحت تعرف الآن باسم معادلة أرهينيوس. وتبعا لهذه المعادلة فإن المعدل يزداد أسيا مع ارتفاع درجة الحرارة وهو السلوك المشاهد عالميا في جميع التفاعلات الكيميائية. فإذا كان لقاء الجزيئات يمثل نجاح التفاعل، فإن ارتفاع درجة الحرارة يعني ازدياد الطاقة المتاحة للجزيئات المتقابلة، وكلما زادت الطاقة كان اللقاء أكثر حرارة (حماسا) وزاد عدد اللقاءات المحتملة مؤديا إلى المزيد من اللقاءات الناجحة (التفاعل) في الفترة الزمنية نفسها.

أصبحت دراسة الكيناتيكا الكيميائية أكثر جاذبية مع زيادة الوضوح في معالجة الموضوع والاقتراب منه. كان الكيميائي الألماني ماكس بودنشتاين واحدا من أوائل من كرّسوا جهودهم كلية لدراسة تلك الكيناتيكا. وكان ولعه بالكيمياء لا يعادله إلا ولعه بتسلق الجبال.

ماكس بودنشتاين

كانت ورشة في بدروم مصنع البيرة الخاص بوالده هي أول لقاء بينه وبين الكيمياء، أما أول لقاء له مع التسلق (تسلق الجبال) فقد كان فوق سطح هذا المصنع. وكان أول لقائه بكيناتيكا الحالة الغازية في أثناء عمله على بحوث الدكتوراه مع فيكتور مايير، لكنه اكتشف أن للكيناتيكا عنده مذاقا مكتسبا. اعتقد في البداية أن الدراسة كئيبة، لذلك وجد نفسه بالتدريج غارقا في تصميم الأجهزة للتجارب ـ كانت تمثل المخرج لخبرته التكنولوجية العالية. وقد أصبح أكثر اهتماما عندما وجد لفرط سروره أن نتائجه يمكن تفسيرها بمفاهيم النظرية الكيناتيكية للغازات. واصل بودنشتاين أبحاثه المستقلة في هذا المجال، حيث انتهى به المطاف مديرا لمعهد الكيمياء الفيزيائية ببرلين خلفا لنرنست. ويروى أنه أصبح الآمر العاصف هناك. وكان يعتقد أن على الطلبة أن يتعلموا كيف يعدون أدواتهم بأنفسهم، لذلك قام بتحطيم أدوات طالب كانت معدة ومجهزة بواسطة أحد الفنيين.

ولسبب وجيه قام بودنشتاين بتركيز بحوثه حول تفاعلات الحالة الغازية:

فالجسيمات تكون متباعدة في الحالة الغازية، لذلك فهناك عدد أقل من التداخلات التي يجب أخذها في الاعتبار، أما في المحاليل فإن الوضع يصبح أكثر إظلاما. وعلى الرغم من أن بعض استنتاجاته قد اتضح أنها ناقصة إلا أن أعماله التجريبية لم يكن في استطاعة أحد أن يتحداها. كان تفاعل غاز الهيدروجين مع غاز اليود واحدا من أوائل التفاعلات التي درسها، والغازان ثنائيا الذرية. وقد بدا أن هذا التفاعل يتبع كيناتيكا صدمة مفردة بسيطة. انتقل بعد ذلك لدراسة الهيدروجين مع البروم، وهو نظام مماثل تقريبا، وبذا فمن المحتمل أن يكون قد توقع رؤية الشيء نفسه. غير أنه حصل بدلا من ذلك على قانون معقد لمعدل التفاعل، ظل غير مفسر لسنوات عديدة فيما بعد. وعندما تم تفسير هذا القانون انسحب هذا التفسير على التفاعل المعقد بين الهيدروجين والكلور. كانت المشكلة (أو حلها) تكمن في تكون «الشقوق»: وهي أشطار (أو شظايا) كيميائية عليها عدد مفرد من الإلكترونات، وهي من النوع غير المستقر ذي الفعالية العالية. ولكون الشق ذا فعالية عالية فإنه يستطيع أن يتفاعل ليكون المزيد من الشقوق في تفاعل متسلسل، معجلا بذلك من معدل التفاعل ليصبح أكبر من القيام المتوقعة من كيناتيكا تفاعل الصدمة المفردة البسيط.

لم تستطع ـ مع ذلك ـ نتائج بودنشتاين السارة أن تحل مشكلة كبرى في كيناتيكا الكيمياء وقتها: التفاعلات أحادية الجزيئية. ففي هذه التفاعلات أحادية الجزيئية تتفكك الجزيئات أو تعيد ترتيب نفسها تلقائيا، كما يبدو، ومن دون أي مادة متفاعلة أخرى فيما يبدو أيضا. أصاب هذا السلوك الباحثين بالارتباك والحيرة لفترة من الوقت وأوجد وضعا يمكن اعتباره فلوجستين الكيمياء الفيزيائية ـ النظرية التي «يبدو» أنها تفسر المشاهدات و«يبدو» أنها تملك أساسا تجريبيا لكن ليست مضبوطة تماما. كانت تلك فرضية الإشعاع في الكيناتيكا.

تنص فرضية الإشعاع على أن الطاقة الزائدة المستخدمة في تفكك الجزيئات تأتي من امتصاص الأشعة تحت الحمراء. ومع أن تأليف النظرية ليس محددا بوضوح إلا أنها لاقت مؤيدين شرهين لاعتناقها. فوليم كودمور ماك كولاتس لويس، أحد الأوائل الذين طبقوا ميكانيكا الكم والميكانيكا الإحصائية في معدلات التفاعل (وبالقطع ليس غبيا)، كان يعتقد أن توزيع

الطاقة في الغاز يعتمد على الأشعة تحت الحمراء الممتصة. وأوجد معادلة لمعدل التفاعل بين الهيدروجين واليود تقوم على أساس من نظرية الحركة للغازات، وتتفق جيدا مع نتائج بودنشتاين. أما جين بابتيست بيرين فكان من أوائل من فسّروا الحركة البراونية بنجاح، وقد اعتنق فرضية الإشعاع. وقد قام ريتشارد تشيس تولمان في العشرينيات بإجراء تجارب لاختبار فرضية الإشعاع، ومع أنه لم يجد براهين قاطعة على صحة الفرضية إلا أنه استمر في تأييدها. وقد يكون له بعض العذر: فالأشعة تحت الحمراء ترفع درجة حرارة العينة ـ وتعتمد كمية الحرارة على شدة المصدر ـ والحرارة ترفع معدل التفاعل. وقد تم العثور على تفسير آخر في بداية العشرينيات، أمكن التحقق منه تجريبيا. افترض فريدريك ألكسندر ليندمان أن التفككات أحادية الجزيئية يتم حثها بالتصادم؛ أي أن الجزيء يكتسب فائضا من الطاقة نتيجة الصدمة حتى مع الجزيئات المماثلة نفسها، ولذلك بدا أن معدل هذه التفاعلات لا يعتمد على تركيز مادة ثانية.

ولدراسة معدلات التفاعلات والعوامل التي تؤثر فيها تطبيقات عملية في تصميم التخليق الصناعي، كما أنها تمثل مجال اهتمام للنظريين الذين يحاولون إدراك وفهم التفاعل على المستوى الجزيئي. وحيث إن معدل التفاعل هو النتيجة المتوسطة لبلايين التصادمات، فمن الممكن أن نتصور استخلاص معلومات حول التصادمات الفردية لو أمكننا فك عقدتها. غير أن فك هذه العقدة ليس سهلا كما اتضح. ومع أن الكيميائيين قد تمكنوا من قياس النتيجة النهائية لحجم التفاعل، إلا أنهم سرعان ما اكتشفوا أن في صلب هذه المشكلة يكمن الكثير من التشكلات والمواد المتلاشية ـ المواد الوسيطة في التفاعل ـ التي يصعب التقاطها وقياسها. لكن تم إحراز التقدم في فهم المواد الوسيطة في التفاعلات في الثلاثينيات بواسطة باحثين مثل هنري آيرينج.

هنري آيرينج

ولد آيرينج في كولونيا خواريز تشيهواهوا بالمكسيك أخا لخمسة عشر من الأطفال (كان يشير لنفسه بقوله المكسيكي الصغير)، وعمل وهو شاب في رعي الأغنام والماشية بمزرعة والده [2]. كانت أول نزعة عنده أن يصبح

مهندس مناجم في شركة النحاس، لكنه اكتشف الخطر الماثل فوق العمال المسؤول عنهم وأقلقه ذلك. عاد إلى الدراسة ليكمل درجة الدكتوراه في الكيمياء الفيزيائية، والتي تضمنت الدراسة جزئيا في ألمانيا. عمل مع ميشيل بولاني واستطاعا معا أن يجهزا خريطة للسطح الممثل لطاقة الوضع (سطح الطاقة الكامنة) للتفاعل بين ذرة هيدروجين والهيدروجين الجزيئي (ثنائي الذرية)، وسطح طاقة الوضع من الأمور البصرية التي تساعد في فهم التفاعلات الكيميائية، التي مثلها مثل أي عملية أخرى تميل إلى سلوك أقل الطرق مقاومة لها. ويرصد سطح طاقة الوضع الطاقة كدالة من المسافة الداخلية والخارجية للذرات، ويبين التغيرات في طاقة الوضع المصاحبة لاقتراب وابتعاد المواد المتفاعلة.

ويمكن رصد هذه الطاقات ـ إذا عرفنا الكفاية عن النظام المتفاعل ـ كدالة من المسافات، فيظهر مسار التفاعل المصاحب لأدنى طاقة كوادٍ بين جبلين من الطاقة. ومع أنه يمكن حساب أسطح طاقة الوضع بالنسبة للأنظمة البسيطة جدا فقط، لكنها تمنحنا الشجاعة عندما تتطابق مع النتائج التجريبية وتشعرنا باقترابنا من فهمها.

ومع كل مساهماته الجوهرية في كيناتيكا الكيمياء، كان آيرينج متعدد المواهب. فكان عضوا نشطا في كنيسة طائفة المورمون، واختار جامعة يوتا لقربها من مركز المورمون بجوار برينستون. كان يستمتع مع أسرته، ولدرايته بالناقل العصبي أسيتيل ـ كولين أطلق على ابنته اسم كولين وتعهد أن يسمي ابنة ثانية باسم أسيتيل ـ كولين. كان يستطيع أن يقفز بجسارة من الأرض إلى أعلى المنضدة ويستعرض هذه المهارة ببهجة ومرح.

اكتسبت أبحاث آيرينج النظرية مزيدا من التأييد من التجارب في منتصف الخمسينيات، عندما ظهرت وتطورت الديناميكا الجزيئية واستخدمت في الكيناتيكا. وفي هذه التقنية التجريبية تستخدم حزم من الجزيئات في شكل إشعاع تتحرك فيه الجزيئات في الاتجاه نفسه ولها الطاقة نفسها تقريبا، لدراسة التفاعل. وتقترب بنا هذه التقنية من المشكل بحيث نصبح كأننا نكاد نمتطي الجزيء وننطلق به. قدمت هذه التقنية ـ الملتزمة بالتداخل في الغازات ـ نظرة وثيقة داخل القوى بين الجزيئية وآلية التفاعل. وصف الكيميائيون حزمة شعاع الجزيئات بأنها تفاعلات خطية (حيث تستمر النواتج في الانتقال

في اتجاه شعاع المتفاعلات نفسه)، وتفاعلات مرتدة (حيث ينحرف مسار النواتج عن مسار شعاع المتفاعلات)، وتفاعلات آلية الحربون (حيث ينتقل الإلكترون عبر مسافة كبيرة ليسحب الجذب الأيوني المتفاعلات).

منحت جائزة نوبل للعام 1986 مناصفة لاثنين من الكيميائيين الأمريكيين هما دودلي هيرشباخ ويوان لي عن أبحاثهما في مجال حزمة أشعة الجزيئات. ولد لي في تايوان وتلقى تعليمه المبكر في ظل الاحتلال الياباني للجزيرة وكانت أسرته قد اضطرت للفرار إلى الجبال لتجنب القصف في أثناء الحرب العالمية الثانية. تعلم الحديث بالصينية واليابانية والإنجليزية والروسية والألمانية وأصبح مهتما بالعلوم بعد أن قرأ تاريخ حياة ماري كوري.

حازت معدلات التفاعلات التي تحدث على الأسطح اهتماما خاصا دائما بالإضافة إلى التفاعلات الغازية الخاصة ببودنشتاين وتفاعلات المحاليل لويلهلمي. والأسباب عدة وراء ذلك، غير أن السبب الذي يفرض نفسه هو وجود سطح ما في قلب التفاعل بشكل دائم ولو كان حتى سطح الإناء الذي يجري فيه. وقد تكون هناك أسطح أخرى مثل سطح أداة تحريك الوسط، أو سطح أي غرواني أو مسحوق، أو سطح الفقاعات، أو سطح الإنزيمات في جسم الإنسان. وتكتسب تفاعلات الأسطح أهمية عندما تكون هناك مساحات كبيرة من السطح أو عندما يعمل السطح كعامل حفاز ـ مثل الإنزيمات ـ تسرع من التفاعل.

اهتم الكيميائيون بصفة دائمة بالحفز من وجهتي نظر الناحية النظرية والناحية العملية. فقد اكتشف همفري ديفي أن سلك البلاتين يحفز تفاعل الهيدروجين مع الأكسجين ليكون الماء. وربما لم تكن ألمانيا لتنجو من الحصار البريطاني في أثناء الحرب العالمية الأولى لولا عملية تثبيت النيتروجين الحفزية التي أدخلها هابر لتحضير النترات لمسحوق البارود. ولم تكن الحياة لتوجد لولا الحفز بالإنزيمات. كانت دراسة الحفز بطريقة منهجية تجرى في أوائل القرن العشرين بواسطة ويلهلم أوستوالد في ألمانيا، وبول ساباتيه في فرنسا، وإيرفنج لانجمير في الولايات المتحدة.

إيرفينج لانجمير

وُلد لانجمير في بروكلين بنيويورك في أواخر القرن التاسع عشر، وحصل

على أول درجة علمية في هندسة الفلزات من جامعة كولومبيا، ثم حصل على الدكتوراه في الكيمياء من ألمانيا. قام بالتدريس لفترة وجيزة، التحق بعدها بشركة جنــرال إليكتريك حيث ظل هناك إلى أن تقاعد في الخمسينيات.

كانت أول مهمة له في جنرال إليكتريك هي إطالة عمر فتيل التنجستن في لمبات الإضاءة الكهربية. كانت هذه اللمبات تعطي ضوءا رائعا، إلا أن الناحية الداخلية لزجاج اللمبات كان يسود بالتدريج حاجبا بذلك الضوء. كانت اللمبات تفرغ من الهواء لتقليل أكسدة واحتراق فتيل التنجستن. لكن لانجمير استطاع حل المشكلة ـ لفرط سرور الإدارة ـ وذلك بملء فراغ اللمبة بغاز خامل لتقليل تبخر التنجستن الذي كان هو السبب وراء اسوداد اللمبات. أدى ذلك بلانجمير إلى أن يدرس الطبقات السطحية والتفاعلات التي تحدث عليها واستمر في ذلك خلال العشرينيات. اقترح لانجمير أن الحفز السطحي يحدث على سطح الحفاز وليس في الطبقات الكثيفة الممتصة، كما كان مفترضا في السابق واستغل هذه الفكرة ليفسر عددا من التفاعلات السطحية. وقد طور وصفا لسلوك الامتصاص على السطح (الامتزاز) يسمى أيزوثرم لانجمير، وهو المميز لتغطية السطح بطبقة سمكها جزيء واحد. وقد ساعدت أبحاثه عن تفاعلات الأسطح الحفزية في دحض فرضية الإشعاع، لكنه اكتشف أن الجدل كان له صفة شخصية أكثر منها علمية كيميائية، فتخلى عن هذا الخط في أبحاثه. ووصل إلى قمة الشهرة بسبب أبحاثه عن الأغشية الجزيئية وكيمياء السطوح، التي أوصلته إلى جائزة نوبل العام 1932. وتطلق الجمعية الكيميائية الأمريكية على مجلة كيمياء السطوح والفروانيات اسم «لانجمير» تخليدا له.

قام لانجمير بدراسة الأغشية وحيدة الجزيئات على سطح الماء، كجزء من أبحاثه حول السطوح، إذ أفاد من تقنيات باحثة كيميائية رائدة بدأت دراستها بماء غسيل الصحون: اسمها أجنيس بوكيلز.

أجنيس بوكيلز

ولدت بوكيلز في يوم القديس فالانتين (راعي الحب) في منتصف القرن التاسع عشر، ونمت في إحدى الولايات الألمانية في أسرتها التي كانت

تعاني الأمراض بشكل مزمن. وقد أبقتها الأسرة في البيت مجاراة لتقاليد وأعراف معظم الأسر في ذلك الوقت. تمكنت من الالتحاق بالمدرسة العليا للبنات في المدينة حيث اكتسبت «اهتماما حماسيا بالعلوم الطبيعية، وبالذات بالفيزياء»[3]. لكن المعاهد العليا لم تكن تقبل النساء وقتها. وعندما قبلت فيما بعد النساء لم تسمح لها أسرتها بالقيد. قرأت الكثير من المراجع عندما كان أخوها يدرس للدكتوراه في الفيزياء لكن شغلها الرئيسي كان رعاية الوالدين والبيت.

لكن فضولها الذي لا يخمده شيء استطاع أن يجد له طريقا، كما كتبت زوجة أخيها:

ما أقوله حقيقة واقعة وليس نكتة أو كلام شعراء: كان ما يراه ملايين النساء كل يوم من دون أي سرور ويرغبون دائما في التخلص منه، ماء غسيل الصحون، هو الذي حمس هذه البنت للملاحظة التي انتهت أخيرا... بالبحث العلمي[4].

اخترعت ميزانا للأغشية السطحية وهي بعد في العشرين وكانت تجري دراسات حول الأغشية السطحية والطبقات أحادية الجزيئية. يتكون ميزان الأغشية السطحية من حاجزين أحدهما ثابت والآخر متحرك فوق سطح الماء. يتم فرد (أو نشر) غشاء من بعض المواد التي لا تذوب في الماء مثل الصابون أو المنظف الصناعي بين الحاجزين، ويدفع بالحاجز المتحرك ليضغط (يكبس) الغشاء السطحي. وتتزايد كمية الضغط اللازم لكبس الغشاء بصورة سلسة تدريجيا إلى أن يتغير فجأة. وعند هذه النقطة (تسمى الآن نقطة بوكيلز) تكون الجزيئات قد أصبحت أقرب ما يمكن لبعضها، أي نقطة أقرب تماس. ومن مساحة سطح الغشاء وعدد الجزيئات في هذا الغشاء يمكن حساب مساحة كل جزيء. كانت بوكيلز تتأكد من نظافة سطح الماء بكنسه بواسطة الحاجز المتحرك. ورسبت بعض الأغشية بإذابتها في مذيب متطاير أولا. وما زالت هاتان التقنيتان تستخدمان بشكل روتيني لدراسة الأغشية السطحية فوق السوائل. وعندما أدرك أخوها مغزى تجاربها نصحها أن تكتب إلى لورد رايلي، الذي كان يعمل في المجال نفسه. وتقول ترجمة جزء من خطاب بوكيلز:

سيدي،

عندما سمعت بالأبحاث المثمرة التي أجريتموها في العام الماضي عن خواص السطوح المائية، غير المفهومة حتى الآن، ظننت أنه قد يهمكم أن تعرفوا ملاحظاتي الشخصية حول هذا الموضوع.

وأنا لست في وضع يسمح لي بنشر هذه الملاحظات في الدوريات العلمية لأسباب مختلفة، ولذلك فكرت في هذه الطريقة لأرسل لكم بأكثرها أهمية... [5].

لكن اللورد رايلي كان في وضع يسمح له بنشر أبحاثها في المجلات العلمية، وقد فعل ذلك. ونشر بحثها في مجلة «ناتشر» في العام التالي. وقد كتب رايلي ملحوظة عند تقديم هذا البحث:

أكون ممتنا إذا أمكنكم تدبير مكان للترجمة المرفقة لخطاب مهم تلقيته من سيدة ألمانية، تمكنت باستخدام أدوات منزلية من التوصل إلى نتائج قيمة حول سلوك السطوح المائية الملوثة[6].

أصبح في إمكان بوكيلز أن تحضر الاجتماعات المتعلقة بأبحاثها بعد ذلك وتساهم فيها لكن لفترة محدودة، كما كتبت بنفسها:

بما أن وقتي كان معظمه يذهب لإدارة البيت، فقد كنت نادرا ما أتمكن من إجراء التجارب بعد العام 1902... وبعد وفاة شقيقي العام 1913 جرفتني مشاكل الحرب وما بعد الحرب... ولم أصبح في وضع يسمح لي بالحصول على الأبحاث المناسبة لمجال دراستي، وساهم في هذا الوضع اضمحلال نظري واعتلال صحتي[7].

وقد نشر أوزوالد في العام1932 تحية إجلال واحترام لها بمناسبة عيد ميلادها السبعين وقامت جامعة كارولينا ويلهلمينا في برونسويك بمنحها الدكتوراه الفخرية.

درس لانجمير عددا من الطبقات أحادية الجزيئية فوق الماء في الثلاثينيات منطلقا من أبحاث بوكيلز. وكانت تعاونه كاترين بلودجيت، التي أصبحت شهيرة في هذا المجال بجهدها الشخصي حيث قامت بتحسين تقنية لنقل الطبقات الأحادية الجزيئية المتعاقبة من سطح الماء إلى جسم صلب، مكونة بذلك ما أطلق عليه أغشية لانجمير ـ بلودجيت. كان لبلودجيت نجاحها العلمي الخاص المحفوف بالمغامرات. فقد كانت أول امرأة تحصل على الدكتوراه في الفيزياء من جامعة كامبريدج بعد أن استخدم لانجمير نفوذه ليجعل الجامعة تقبلها. وقبل ذلك الوقت بأربعين سنة كان يسمح للنساء بحضور محاضرات الكيناتيكا في أكسفورد «بتصريح خاص لكل حالة وبصحبة شخص أكبر» [8]. وقد ظلت وظيفة الشخص الأكبر غير معروفة بالتحديد سوى أنه كان بمنزلة الرقيب. غير أنه من الصعب أن نصدق أن الشخص الأكبر أو أي شخص آخر إذا لم يكن كيميائيا، سيتمكن من الاحتفاظ بحيويته خلال محاضرة في كيناتيكا الكيمياء. وعلى كل، فقد تمكنت بلودجيت من الاحتفاظ بحيويتها وتأمين مكان لها في علم السطوح. واستمر علم السطوح، كما أصبح معروفا، على طبيعته الخصبة.

استمر المجال العام لكيناتيكا الكيمياء على خصوبته هو الآخر. بدأ الكيميائيون يلاحظون سلوكا جديدا للتفاعلات الكيميائية في المحاليل خلال الخمسينيات، وقد تضمن ذلك مسلكا شاذا لا تتناقص فيه تركيزات المواد بالتدريج وبسلاسة من البداية وحتى نهاية التفاعل، بل تتذبذب. ومشاهدة هذه التذبذبات شيء أخاذ، فهي قد تحدث في الزمان (نبضات كل فترة زمنية)، أو في المكان (موجات من المادة). وعندما رصد كيميائيان مثل بيلوسوف وجابوتينسكي هذه التفاعلات لأول مرة وجدا صعوبة بالغة في نشر ملاحظتهما عنها. كان الاعتقاد الراسخ أن التفاعلات تسير بسلاسة من البداية حتى النهاية. غير أنه يُكتشف المزيد من هذه التفاعلات اليوم ـ وفي أماكن مهمة ـ مثل التفاعلات التي تنظم ضربات القلب والتفاعلات الداخلة في الأيض الغذائي (التمثيل الغذائي) وتكوين الأنسجة والتمايز.

وحتى ندرك لماذا يتذبذب تفاعل ما لنأخذ نموذج الفريسة والمفترس[9]. فإذا أخذنا تعداد الأرانب بديلا لتركيز أحد المتفاعلات وتعداد الذئاب بديلا لتركيز المتفاعل الآخر، وثبتنا إمداد تغذية الأرانب، فإن تعداد الأرانب سيزداد مسببا زيادة في تعداد الذئاب لأنها تتغذى على الأرانب. سيؤدي ذلك بدوره إلى خفض تعداد الأرانب (فالذئاب تتغذى جيدا)، والذي يعني أن تعداد الذئاب سينخفض بدوره كلما اختفت الأرانب وتضورت الذئاب جوعا. وببلوغ تعداد الذئاب حدا منخفضا معينا سيبدأ تعداد الأرانب في الزيادة ثانية وهكذا. ويبدو أن هذا النوع من التغذية الراجعة الحلقية (يعتمد تعداد الذئاب على تعداد الأرانب الذي يعتمد نفسه على تعداد الذئاب) ضروري كشرط للتفاعلات المتذبذبة. وقد اكتُشف عدد من التفاعلات الكيميائية التي لها تغذية راجعة حلقية مماثلة، وعليه يمكن جعلها تتذبذب[10]. وهناك شرط ضروري آخر يمكن التعرف عليه من نموذج الفريسة والمفترس. حيث لا بد من الحفاظ على المدد الغذائي للأرانب ثابتا. فإذا استُهلك هذا المدد سيتوقف التفاعل ـ سيصل النظام إلى توازن equilibrium. وبذلك فإن الشرط الضروري الثاني أن يكون التفاعل بعيدا عن التوازن.

ثرموديناميكا عدم التوازن

كان أحد الباحثين الذين عالجوا المسألة الشائكة المتعلقة بتطبيق

الديناميكا الحرارية للتوازن (صاحبها جيبس) على الأنظمة غير المتزنة هو لارس أونزاجر الحائز جائزة نوبل العام 1968. لم يكن أونزاجر محظوظا، وتروى عنه النكتة الآتية عندما بلغ 68 عاما:

عندما وقع نظر أونزاجر أول مرة على طالب ما بعد الدكتوراه الجديد، عانقه وقبله على الطريقة الروسية ثم أخذه لمكتبه ليريه مقالة. كانت الفوضى في كل مكان بما في ذلك أرضية المكتب. وفجأة اختفى لارس ووجده الطالب تحت الطاولة حيث اكتشف المقالة (والتي اتضح أنها رسالة تتكون من 400 صفحة) وشيكا مضى عليه شهران. وعندما رأى الطالب التواءات أونزاجر وحركاته فكر في دخيلة نفسه «ها هو رفيق يحك أذنه اليسرى بيده اليمنى من خلف ظهره وإنني لأتعجب كيف يربط حذاءه»[11].

لارس أونزاجر

كان مجال المساهمات التي قام بها أونزاجر زاخرا، ففي منتصف العشرينيات كان لم يكمل رسالة الدكتوراه بعد، لكنه سافر من وطنه النرويج إلى زيورخ ليقول لأحد الرواد في كيمياء المحاليل، بيتر ديباي، كيف تصدعت نظريته في التوصل الكهربي في المحاليل. كان في بداية العشرينيات من العمر، استمع إليه ديباي ثم قرر تعيينه مساعد باحث. ولم يكن قد حصل على الدكتوراه عندما التحق بعمل في الولايات المتحدة لتدريس الكيمياء للفرقة الأولى. لكنه لم يتمكن من التواصل مع طلاب الفرقة الأولى، فانتقل أستاذا مساعدا للكيمياء في براون. وقد قام هناك بتطوير بحثه في الديناميكا الحرارية الذي أكسبه جائزة نوبل فيما بعد، وقدمه إلى جامعته السابقة في النرويج للحصول على الدكتوراه.

لم يجز البحث وبذلك لم يحصل على الدكتوراه. لكن بعد مرور ثلاثين عاما منحته الجامعة نفسها الدكتوراه الفخرية.

كان البحث المرفوض عن تطوير ثرموديناميكا الأنظمة غير المتزنة. افترض أونزاجر أنه عند التوازن، وعلى المستوى الجزيئي، يحدث التفاعلان الأمامي والعكسي بالمعدل نفسه (مبدأ الانعكاسية الميكروسكوبية). فإذا كانت هناك إزاحات صغيرة عن التوازن، فسيكون سريان المادة أو الحرارة متناسبا مع القوة الثرموديناميكية. وبذا يمكن حساب سلوك النظام لدى عودته إلى التوازن. فقد أونزاجر وظيفته في براون في أثناء فترة الكساد الكبير في الثلاثينيات. قدمت له جامعة ييل منحة بحث باسم جيبس

للحاصلين على الدكتوراه، غير أن الإدارة المعقدة تيقنت أنه غير حاصل على درجة الدكتوراه. طُلب منه عندئذ أن يقدم بحثا ليقيم بواسطة ييل، فلم يشأ أن يقدم البحث الذي رفض مسبقا، ولذ تقدم ببحث آخر لم يرحب الكيميائيون ولا الفيزيائيون بتقييمه. غير أن الرياضيين وافقوا على البحث، فحصل على الدرجة واحتفظ بالوظيفة. مكث أونزاجر في ييل التسع والثلاثين سنة التالية، وكان طوال هذه المدة يعمل في حجرة بلا نوافذ في معمل للكيمياء. لم يسمح له بتدريس طلاب السنة الأولى في ييل (مع أنه كان يستمتع بتناول الغذاء معهم)، فحتى طلاب الدراسات العليا كانوا يستصعبون المناهج التي يدرسها لهم. وكانوا يطلقون على منهج الميكانيكا الإحصائية اسم النرويجي I والنرويجي II [12].

قام إيليا بريجوجيني (الحائز جائزة نوبل العام 1977) خلال الأربعينيات والخمسينيات بتطوير ثرموديناميكا عدم الاتزان للأنظمة البعيدة عن الاتزان مؤسسا بحثه على أعمال أونزاجر المؤكدة. ولد إيليا في موسكو قبل الثورة البلشفية مباشرة، وقد غادرت أسرته روسيا في النهاية لتستقر في بلجيكا. ومع أنه كان ينوي أن يصبح عازف بيانو كلاسيكيا إلا أن أسرته كانت ترغب في أن يتعلم القانون. لكن الكيمياء استهوته عندما كان يقرأ عن سيكولوجية الجريمة وبالذات حول كيمياء المخ، وهكذا فقده عالم العدالة.

من الطريف ملاحظة أن كتاب بريجوجيني «مقدمة في الكيمياء» كان مدخله كيمياء الأنظمة الحية، ذلك لأن أبحاثه التالية ـ وإن بدت بعيدة عن الطبيعة ـ ربما كان أكثر مضامينها إثارة ذا علاقة بالغلاف الحيوي. وقد تنبأت معالجات بريجوجيني للأنظمة البعيدة عن التوازن ـ للمفاجأة ـ بالتفاعلات المتذبذبة وبالأنظمة ذاتية الترتيب. ويكمن جوهر الحياة في درجة الترتيب العالية في أثناء سريان المادة والطاقة، ولا يوجد شك في أن هذا البحث سيحظى بملاحقة الباحثين الشديدة في المستقبل[13].

نمت ونضجت وازدهرت الكيمياء الفيزيائية في القرن العشرين مع أنها كعلم مستقل تضرب بجذورها في القرن التاسع عشر. وبالتحديد هناك مجالان ينتميان للقرن العشرين ـ هما كيمياء الكم وكيناتيكا الكيمياء ـ لهما نجاحات مغرية في حالة الأنظمة البسيطة، لكنهما ما زالا بعيدين عن الكمال. وبالمثل، هناك الكيناتيكا والثرموديناميكا اللذان يمتلكان قوة هائلة

في التنبؤ والتفسير في حالة الأنظمة المتزنة، لكنهما يحتاجان إلى تطوير واستكمال بالنسبة للأنظمة غير المثالية وغير المتزنة. وقد بينت الأعمال التي تمت تكشفات واعدة في المستقبل.

والكيمياء الإشعاعية، أي دراسة كيمياء المواد المشعة هي نوع آخر من الكيمياء ولد على مفرق القرنين. لكنها تعد من موضوعات القرن العشرين في الواقع. فقد أظهرت نموا مطردا وانثناءات بعد أن بدأت على أيدي بيكريل وآل كوري. هذا هو الموضوع الذي سنختبره في الفصل القادم.

19 حوالى ١٩١٤ ـ ١٩٥٠
الكيمياء الإشعاعية : انشطار دالتون

- البروتون والنيوترون
- الانشطار النووي
- مشروع مانهاتن
- القنبلة
- السوبر
- العناصر الجديدة

سيفاجأ بعض القراء بهذا الفصل المختصر بلا شك، لأنهم يدركون أن تاريخ الكيمياء الإشعاعية له رصيد أخاذ: منح جائزة نوبل عن أبحاث خاطئة جزئيا ـ جواسيس ـ كلمات شفرة سرية في جو تآمري ـ حراس أمن في معاطف فراء. ونحن نأمل في أن تساعد قائمة المراجع المدرجة في إثارة الاهتمام. وقد يفاجأ قراء آخرون بوجود هذا الفصل في الكتاب، لأنهم يعتبرون الإشعاع موضوعا موقوفا على تاريخ الفيزياء فقط. لكن الكيمياء الإشعاعية كيمياء غير عضوية، ولا يمكن دراسة الإشعاع دون استخدام الكيمياء في الفصل والتعيين والتنقية، والمناورة بكل هذه الفنون القديمة. ولذلك فإن تاريخ الكيمياء الإشعاعية جزء من تاريخ الكيمياء ـ على الرغم من أننا نقر بوجود عدد من الفيزيائيين ضمن الموضوع.

أصبح النشاط الإشعاعي منطقة ساخنة للبحث العلمي بعد اكتشاف الإشعاع في ختام القرن التاسع

عشر، حيث أخذت مجموعات متعددة تلاحق هذه الظاهرة في جميع أنحاء العالم، وبالذات في ألمانيا وإنجلترا والدنمارك وفرنسا وإيطاليا والولايات المتحدة وكندا وروسيا واليابان. وكنقطة بداية عامة كان الجميع يعلم أن الأنوية المشعة تشع أشكالا مختلفة من الإشعاع، بما في ذلك أشعة كهرومغناطيسية عالية الطاقة (ضوء) تسمى أشعة جاما، وأنوية هيليوم ذات الشحنة الموجبة عالية الطاقة (أشعة ألفا) وإلكترونات سالبة عالية الطاقة (أشعة بيتا). وقد أضيفت معلومات أخرى بعد الحرب العالمية الأولى مباشرة عندما بين رذرفورد في إنجلترا أن ذرات النيتروجين تنتج أنوية الهيدروجين موجبة الشحنة إذا قذفت بدقائق ألفا. وقد أطلق على هذه النواة اسم بروتون.

البروتون والنيوترون

اقترح رذرفورد أن تكون البروتونات هي اللبنات الأساسية التي تبنى منها الأنوية - فللهيدروجين بروتون واحد وللهيليوم اثنان ولليثيوم ثلاثة وهكذا. لكن الوزن الذري للهيليوم كان أكبر من ضعف الوزن الذري للهيدروجين، والوزن الذري لليثيوم كان أكبر كثيرا من ثلاثة أضعاف الهيدروجين، ولذا فقد افترض رذرفورد أن النواة تحتوي على جسيمة غير مشحونة لها كتلة البروتون نفسها، وذلك لتعويض الفارق في الوزن الذري. وسرعان ما اكتُشف النيوترون، إلا أن المجموعة التي اكتشفته للمرة الأولى لم تكن تعرف ما الذي تبحث عنه، وعندما اكتشفته لم تكن تعرف ما الذي بين أيديها.

فريدريك جوليو وإيرين كوري

إيرين كوري هي ابنة ماري وبيير كوري، وكان عمرها عاما واحدا عندما اكتُشف الراديوم. وعندما توفي والدها كانت في التاسعة فتلقت معظم التربية والتنشئة على يد جدها لأبيها. كان والداها ليبراليين ذوَي ميول اشتراكية، وكان جدها قد اشترك في ثورة 1848 في فرنسا ضد الملكية، الأمر الذي دعم مبادئ الوالدين. لم تتلق إيرين تعليما دينيا والتحقت بمدرسة تعاونية خاصة أنشأها وقام بالتدريس فيها أسرة كوري وأسرة لانجفين

وآخرون. وبمجرد انتهائها من التعليم التحقت بوالدتها في معهد الراديوم، حيث كانت باحثة علمية رزينة جادة كما تقول الروايات.

كان فريدريك جوليو من العيّنة نفسها من أسرة ليبرالية، تلقى تعليمه كمهندس. وتعرّف على بول لانجفين في أثناء دراسته وشجّعه الأخير على العمل بالبحث العلمي. وقد زكّاه لانجفين عند ماري كوري فعيّنته في معهد الراديوم، وهناك التقى جوليو «موريس شيفاليه»[1] مع إيرين كوري «قطعة الجليد»[2] وتزوجا، اتخذا اسم جوليو ـ كوري اسما للعائلة، إلا أن جوليو استمر في التوقيع على المقالات العلمية باسم جوليو وكذلك استمرت إيرين في وضع اسم كوري على مقالاتها العلمية.

كانت بحوثهما منفصلة عن بعضها إلى أن قررا التعاون معا في دراسة ظاهرة جديدة: كان والتر بوث ومعاونوه قد لاحظوا إشعاعا يفوق الإشعاع المتوقع عشر مرات عندما قذفوا العناصر الخفيفة بجسيمات ألفا. ولدراسة إشعاع بوث استخدم جوليو ـ كوري مصدرا قويا لأشعة ألفا بُني من البولونيوم المتراكم بواسطة ماري كوري وتصميم جديد هو غرفة الضباب. وغرفة الضباب من اختراع تشارلز ويلسون في بداية الحرب العالمية الأولى، وهي تجعل من مشاهدة مسار الجسيمات المشحونة أمرا ممكنا (عندما تمر جسيمة مشحونة بشحنة كهربية خلال بخار ماء فوق مشبع، فإن الماء يتكثف على شكل «سحاب» في آثار هذا المسار). وضع جوليو ـ كوري البارافين في طريق أشعة بوث، ويتكوّن البارافين من الكربون والهيدروجين بنسبة 1 إلى 2 تقريبا، فاكتشفا ذرات الهيدروجين في غرفة الضباب.

وقد ظنا خطأ أن الأشعة التي يتعاملان معها هي أشعة جاما عالية الطاقة (موجات ضوئية)، وذلك لأن هذه الأشعة كانت تخترق كل شيء بما في ذلك طبقات عدة من الرصاص. وبناء على ذلك فقد أعلنا العام 1932 أن «أشعة جاما» هذه قد ركلت البروتونات من البارافين. قال رذرفورد معقبا «أنا لا أصدق ذلك»[3]. وقال أحد المنافسين الأقل ذوقا من رذرفورد: «يا لهما من غبيين، لقد اكتشفا البروتون المتعادل ولا يقران بذلك»[4].

كانت المشكلة مثل كرات البلياردو وكرات البولنج، فالفوتونات تستطيع أن تركل الإلكترونات من المواد، حيث كل من الفوتونات والإلكترونات كرات بلياردو. أما البروتون (نواة الهيدروجين) فهو أثقل تقريبا 2000 مرة من

الإلكترون، مما يجعله كرة بولنج في التشبيه، فإذا صدمت كرة بلياردو كرة بولنج فلن تؤثر فيها باستثناء انحراف الأخيرة عن الطريق.

اكتشف تشادويك في إنجلترا أن أشعة بوث أقوى في الاتجاه الأمامي من الاتجاه العكسي. ولأن الضوء لا بد أن يشع في جميع الاتجاهات فقد أوحى ذلك له بأن أشعة بوث على الأرجح جسيمات وليست ضوءا. ولم تحدث هذه الإشعاعات أي أثر في غرفة الضباب مما يدل على أنها جسيمات غير مشحونة، ورجح تشادويك أن يكون قد حصل على النيوترون.

وأصبحت المشكلة هي استنتاج مقياس كتلة جسيمة غير مشحونة. فكر رذرفورد: «كيف تجد الرجل الخفي في ميدان بيكاديلي (المزدحم)؟... عن طريق الناس الذين يصطدم بهم وردود أفعال الذين يدفعهم جانبا...[5]. استخدم تشادويك أشعة بوث ليركل بها ذرات النيتروجين والهيليوم والهيدروجين، وبمقارنة الارتداد قام بحساب كتلة الجسيمة المتعادلة فوجد أنها كتلة البروتون نفسها. أعلن اكتشاف البروتون.

كان لجوليو ـ كوري نصيبهما من النصر: فقد اكتشفا أن ذرات البورون والألومنيوم إذا قذفت بأشعة ألفا تستمر في بث الإشعاع حتى بعد إزالة مصدر أشعة ألفا. امتصت الذرات المقذوفة جسيمات ألفا (القذائف) وتحولت إلى عناصر مشعة مصطنعة (أو مخلقة). وقد نالا جائزة نوبل عن هذا البحث. وكتبت ماري كوري إلى ابنتها تقول: «لقد عادت الأيام المجيدة للمعمل القديم»[6]. وأضافت فقرة عن الإشعاع الاصطناعي إلى الطبعة الجديدة من دراستها عن الإشعاع، التي صدرت بعد وفاتها.

الانشطار النووي

كان إنريكو فيرمي في إيطاليا ـ وهو فيزيائي يدرس ظاهرة الإشعاع ـ يراقب تطورات الأحداث باهتمام. وقد فكر في أن النيوترونات قد تكون أكثر كفاءة في اختراق وتحويل الأنوية عن جسيمات ألفا، لأن النيوترونات غير مشحونة ولذا فلن تتنافر معها الأنوية المشحونة (يقال إن هذه الفكرة قد واتته في أثناء لعب التنس). بدأ برنامجا لتشعيع كل العناصر المعروفة بالنيوترونات ليرى ما الذي تعطيه، بادئا بالعناصر الأخف أولا. لم يلاحظ تكون عناصر جديدة ولا نشاطا إشعاعيا مع العناصر الأولى، لكن مع الفلور

لاحظ نشاطا إشعاعيا مستحثا. ولدت هذه الملاحظة موجة من البحوث تمكن فيها فيرمي ومجموعته التي ضمت إيميليو سيجري[7]، وإدوارد أمالدي[8]، وفرانكو روزيتي[9]، من إنتاج وفرة من الأنوية غير المعروفة ـ حتى الآن ـ لعناصر معروفة، وهي أنوية تحتوي على أعداد من النيوترونات مختلفة عن العناصر الموجودة في الطبيعة.

وفي النهاية وبحلول ربيع العام 1934 كانت مجموعة فيرمي قد وصلت حتى تشعيع اليورانيوم مارة بالجدول الدوري كله، واليورانيوم هو أثقل العناصر المعروفة وقتها. وفي أثناء ذلك اكتشفت المجموعة عددا من الأنوية المشعة والتي يصعب تحديدها على أنها أنوية لعناصر معروفة ـ على الأقل حتى العنصر ذي العدد الذري 82 (الرصاص). ولعدم وجود سبب يسمح فقط بتكون عناصر أخف من العدد الذري 82، فقد أعلنت المجموعة أنها قد استحدثت عناصر أثقل من اليورانيوم أو عناصر «ما بعد اليورانيوم». تعرض فيرمي للنقد على هذا الاستنتاج وبالذات من إيدا نوداك (الكيميائية التي يرجع إليها ولزوجها فضل اكتشاف عنصر الرينيوم). وينعكس قلق فيرمي تجاه هذه النتائج في عنوان المقال الذي ضمها: «الإنتاج المحتمل لعناصر ذات عدد ذري أكبر من 92»[10]. وقد يكون فيرمي قد تعرض لتأثيرات أخرى. كانت الفاشية التي ظهرت في إيطاليا حديثا تبحث عن أبطال وأمجاد قومية، وربما مارست ضغطا على فيرمي ليدعي الحصول على نتائج باهرة. ولم يقدم فيرمي أسماء للعناصر الجديدة إلا في محاضرة جائزة نوبل، لكن في ذلك الوقت علق إيميليو سيجري ـ أحد العاملين في المشروع ـ قائلا:

لم تكن اللحظة مواتية، ففي ذلك الوقت نفسه كان هاهن وستراسمان يكتشفان الانشطار النووي، فأثبتا بذلك أن عناصر [فيرمي] تلك تتكون (لنقل ذلك بديبلوماسية) من كيمياء متواضعة[11].

كانت الأبحاث التي أشار إليها سيجري تخص فريق مايتنر وهاهن وستراسمان.

ليز مايتنر وأوتو هاهن

تكوّن الفريق الأصلي من مايتنر وهاهن. ولد أوتو هاهن في فرانكفورت

على الماين في ألمانيا وكان يخطط ليصبح كيميائيا في الصناعة، واختار أن يعمل مع سير وليم رامزي ليحسن من إنجليزيته. كان رامزي يعمل في الكيمياء الإشعاعية دون أن يحقق نجاحا كبيرا. وفي أثناء عمل هاهن معه على تحلل الثوريوم اعتقد أنه اكتشف عنصرا جديدا أطلق عليه اسم راديوثوريوم. علم بالأمر بيرترام بولتوود ـ كيميائي الإشعاع من جامعة ييل وصديق رذرفورد ـ وأن الراديوثوريوم لا يمكن فصله عن الثوريوم فقال عنه إنه مركب من الثوريوم والغباء. كان ذلك شيئا خشنا لأنه كانت هناك مواد عدة غير قابلة للفصل تم تعيينها في ذلك الوقت. ويعود للكيميائي سودي الفضل في ملاحظة أن هذه العناصر المتطابقة كيميائيا بينها فروق طفيفة في الأوزان الذرية.

ونحن نعلم اليوم أن العناصر المتطابقة كيميائيا لابد أن يكون لها العدد نفسه من البروتونات في أنويتها، لكنها قد تمتلك أعدادا متباينة من النيوترونات. وتتسبب الأعداد المختلفة للنيوترونات في اختلاف الأوزان الذرية ـ مجموع أوزان البروتونات والنيوترونات. أطلق سودي على هذه العناصر المتطابقة كيميائيا، التي تختلف قليلا في أوزانها الذرية اسم «النظائر»، (من الإغريقية: أيزوتوب ـ المكان نفسه)، لأن هذه العناصر تشغل المكان نفسه في الجدول الدوري. وفي الحقيقة، فإن الأوزان الذرية المقاسة للعينات الموجودة في الطبيعة ما هي إلا متوسطات للنظائر الموجودة في الطبيعة للعنصر الذي يجري تعيين وزنه الذري. ويبدو أن الأوزان الذرية لمعظم العناصر ثابتة لأن العينات الطبيعية للعناصر تحتوي التوزيع نفسه من النظائر، وهو ما يسمى «بالانتشار الطبيعي». (ويفسر ذلك بعض الأمور الشاذة في جدول مندلييف الدوري: فقد يكون لعنصرين متتاليين ترتيب معكوس للأوزان الذرية، فالنيكل يتبع الكوبلت مثلا لكن وزنه الذري أصغر منه ـ لأن الأوزان الذرية متوسطات لأوزان النظائر ووجود نسبة مرتفعة من نظير ثقيل قد تخلط المقاييس). اغتمّ هاهن وتكدّر عندما تبيّن ذلك، لكنه كان ما زال شابا أمامه الكثير. حصل هاهن على وظيفة في جامعة برلين لدى عودته من عند رذرفورد، وبدأ يدرس النشاط الإشعاعي. شعر بحاجته إلى منظور فيزيائي للنتائج التي حصل عليها لكونه كيميائيا جيد التدريب (ويعترف صراحة بأنه كان يهتم أكثر بمقاهي البيرة عن الفيزياء عندما كان

طالبا). وعن طريق بلانك التقى بليز مايتنر وبدآ العمل معا.

كانت ليز مايتنر من أسرة نمساوية من الطبقة الوسطى وفي عمر هاهن نفسه بالضبط، وقد ذهبت إلى ألمانيا لدراسة الفيزياء بعد أن حصلت على تصريح (لكونها امرأة) لحضور محاضرات بلانك، لكن لم يسمح لها بدخول المعامل. وقد رفض طلب مايتنر وهاهن لاستخدام المعامل عندما قررا العمل معا (التحديد كان موجها لمايتنر)، لكن في مواجهة إصرارهما سمح لهما باستخدام ورشة نجارة مهجورة. كان كل منهما ذا خبرة عملية تجريبية جيدة ولذا أثمر تعاونهما معا. وسرعان ما دعي هاهن ليرأس برنامجا للكيمياء الإشعاعية في معهد القيصر ويلهلم. وقد تمكّنا في المكان الجديد من القيام بقياسات أكثر دقة بعد أن تخلّصا من إشعاع الخلفية الناتج عن التلوث في المكان والأجهزة القديمة. بدآ البحث عن «المادة الأم لعنصر الأكتينيوم» في المواد الطبيعية، أي المادة التي تتحول إلى الأكتينيوم إذا بثت دقائق ألفا.

اعترضت الحرب العالمية الأولى مسار العمل، وجُنّد هاهن في وحدة الحرب الكيماوية، لكن مايتنر واصلت البحث بنفسها. كانت خطابات مايتنر لهاهن في ذلك الوقت تدل على علاقة رسمية وسطحية ـ وقد حفظت هذه الخطابات، (استخدمت مايتنر دائما لقبا رسميا عند مخاطبتها هاهن) لكن تحت السطح كان هناك عدم اهتمام متبادل[12]. ويمكننا أن نخمن من الخطابات أن هاهن كان شغوفا بالنتائج، وعندما قاربت الحرب أن تضع أوزارها كانت النتائج جاهزة عند مايتنر. وقد نشرا العام 1918 اكتشاف البروتوأكتينيوم (الذي يعني ما قبل الأكتينيوم) إلا أن الاسم اختزل إلى بروتاكتينيوم في العام 1949.

كانت مايتنر تعمل من دون مرتب حتى ذلك الحين معتمدة على مساعدة من والدها. وبعد الاكتشاف عينت في وظيفة بقسم الفيزياء بمعهد القيصر ويلهلم وأعطوها من الإمكانات ما سمح لها بالإشراف على البحوث. عملت مايتنر بجد مع مجموعتها، وكان هاهن يعمل مع مجموعته، إلى أن قررت مايتنر أن تختبر ادعاءات فيرمي المثيرة عن قذف اليورانيوم بالنيوترونات وأقنعت هاهن بالانضمام إليها[13]. صدرت أول قوانين معادية للسامية العام 1933 في ألمانيا وبدأت مايتنر تفكر في الرحيل (كانت من أصل يهودي

واعتنقت البروتستانتية)، لكن بلانك وهاهن ناقشاها ليقنعاها بعدم الرحيل، فقد كانت مواطنة نمساوية واعتنقت المسيحية، ولذا فهي ليست معرضة للخطورة المباشرة. وفي ذلك الحين ضم هتلر النمسا وصُنّفت مايتنر على أنها يهودية ألمانية وطلب منها أن تضع نجمة داود وتعرضت للمضايقات في الشارع.

كان هاهن ومايتنر يخطوان نحو الستين في ذلك الوقت وقد استمرت صداقتهما30 عاما. دُبّرت سفرية إلى الخارج لمايتنر بمعاونة هاهن وديباي وكان من الواضح ضمنا أنها لن تعود. أعطاها هاهن خاتم جدته الماسي لتستخدمه إذا احتاج الأمر كرشوة. وانتزعت مايتنر منه وعدا بإرسال النتائج لها بمجرد التوصل إليها، ثم تقبل منها انسحابها التكتيكي. ذهبت إلى كوبنهاجن في ضيافة نيلز بور ثم قبلت وظيفة في معهد نوبل باستوكهولم.

في عيد الميلاد التالي جاء أوتوفريش ـ ابن أخت مايتنر ـ لزيارتها. وقد تزامن مع زيارته وصول خطاب من هاهن يقول فيه إنه ومعاونهما فريتس ستراسمان قد توصّلا إلى نتائج غريبة لا يستطيع أن يعرضها على أحد إلا عليها في الوقت الحاضر. كتب يقول:

تسلك نظائر الراديوم عندنا مثل الباريوم! ربما تستطيعين الوصول إلى تفسير رائع لهذا. فنحن نعلم أن [اليورانيوم] لا يمكن أن يندفع متحولا إلى باريوم. وهكذا إذا اكتشفت تفسيرا لذلك فسيكون ذلك صنيعا جيدا[14].

كان الكيميائيون في ذلك الوقت قد سلموا بأن القذف ينتزع قطعا صغيرة من الأنوية المقذوفة مثل البروتون أو جسيمة ألفا، لكن هذه النتائج أشارت إلى انشطار نواة اليورانيوم ذات 92 بروتونا إلى شظايا في حجم الباريوم. كان الباريوم، ببروتوناته الـ 56 قطعة كبيرة بوضوح. خرج فريش ومايتنر للتنزه ومناقشة هذه النتائج، وتعرضا لنموذج بور للنواة: قطرة الماء المتماسكة مع بعضها بفعل الشد السطحي. كان التنافر الكهربي بين البروتونات المشحونة شحنة موجبة والمنضغطة إلى جوار بعضها يعمل ضد الشد السطحي للنواة ـ النقطة. ويمكن تصور أن امتصاص نيوترون زائد سينحل باستقرار النواة (قطرة الماء) فتنشطر إلى شطرين. ثم أجريا حسابات تقريبية للطاقة التي ستحرر نتيجة فرق الوزن بين الشظيتين ونواة اليورانيوم الأصلية، مستخدمين معادلة أينشتاين $E = mc^2$. وقررا أن الطاقة ستكون

كافية ليندفع كل شطر بعيدا عن الآخر. أرسلا بتفسيرهما إلى هاهن الذي قام بنشر نتائجه تحت اسم هاهن وستراسمان.

كتبت ليز مايتنر لأخيها:

لقد نشر هاهن أشياء رائعة بشكل مطلق مبنية على أساس عملنا المشترك. وبقدر ما تسعدني هذه النتائج من أجل هاهن على المستوى الشخصي والعلمي، إلا أن كثيرا من الناس هنا لابد أن يعتقدوا أنني لم أساهم مطلقا بأي شيء في هذا البحث[15].

وسيظل عدم اعتراف هاهن بمساهمة مايتنر في المشروع سرا غامضا. قد يقال لو كان فعل ذلك لكان مجازفا بحمق في ظل الوضع السياسي القائم. وربما كان بحث لعالمة مثل مايتنر ـ المصنفة كأقل من 50٪ آرية ـ أمرا ممنوعا. (ويعد تصنيف الناس إلى آريين وغير آريين بواسطة الحزب النازي الاشتراكي من أخطاء التسميات التاريخية: فالآرية تعني مجموعة لغوية وليست مجموعة عرقية، تماما مثلما تعني اليهودية ديانة وليست عرقا). وعلى الرغم من مشاعر العداء للنازية عند هاهن إلا أنه نجح في الاحتفاظ بمنصبه طوال الحرب، وربما تكون الديبلوماسية هي التي ساعدته على الصمود. (تحطم الأمل الوظيفي لستراسمان لأنه رفض الانضمام إلى اتحاد الكيميائيين الألمان الذي يتحكم فيه النازي). لكن حتى بعد الحرب ظل هاهن صامتا. مُنح جائزة نوبل العام 1946 على الأبحاث، وقد كتبت مايتنر تقول: «إنني أجد الأمر مؤلما جدا، فحتى في تحقيقاته الصحافية لم يذكر أوتو كلمة واحدة عن الثلاثين عاما التي عشناها معا...»[16].

ويمثل التبرير أو التسويغ أحد طرق النجاة، وربما تكون مايتنر قد أدركت ذلك. ظلت هي وهاهن صديقين وكانا يتراسلان حتى فصل بينهما الموت بأشهر عدة فقط عندما كانا في التسعينيات من العمر. وقد لقيت مساهمات مايتنر بعض الاعتراف حديثا. فقد تغيرت اللوحة الموضوعة في ميونخ في المتحف الذي يعرض الجهاز الذي صممته لتشعيع اليورانيوم بالنيوترونات من «طاولة عمل أوتو هاهن» إلى «طاولة عمل أوتو هاهن وليز مايتنر وفريتس ستراسمان».

نشر فريش ومايتنر في النهاية التفسير النظري الخاص بهما، غير أن الفكرة كانت مذهلة بشكل لا يمكن أن يُبقي الأمر سرا بعدها. فعند عودته إلى كوبنهاجن أخبر فريش بور، وفي نيويورك أخبر بور فيرمي في أحد

المؤتمرات. وكان فيرمي قد ترك إيطاليا لتوه مع زوجته اليهودية متوقفا فقط في السويد ليأخذ جائزة نوبل الخاصة به. قبل فيرمي وظيفة في جامعة كولومبيا في نيويورك، وبدأ العمل في اللحظة نفسها على هذه الفكرة الجديدة التي تسمى اليوم «الانشطار النووي» وقد اكتشف مثل آخرين أن أحد نواتج الانشطار هو المزيد من النيوترونات.

حدث بعد ذلك أن فكّر كثير من الناس في أنه لو كانت النيوترونات تحدث الانشطار والانشطار ينتج نيوترونات، إذن يمكن لانشطار واحد أن يسبب انشطارا آخر. فإذا كان تفاعل الانشطار يطلق أكثر من نيوترون، إذن لتسبب تفاعل انشطار واحد في حدوث تفاعلين أكثر، ثم أربعة، وهكذا، أي أن تفاعلا متسلسلا قد يحدث. وتحت الظروف المناسبة قد يصبح التفاعل ذاتي الدفع مثل الاحتراق، وقد يصبح مصدرا للطاقة مثل الاحتراق أيضا. بدأ فيرمي العمل في هذا الاتجاه، كما فعل جوليو ـ كوري الشيء نفسه. شعر المعمل الفرنسي أنه في سباق من أجل أسبقية الوصول إلى النتائج، ولذلك تعجل في القياسات وفي نشر فكرة إمكان حدوث تفاعل متسلسل. غير أنه مع سقوط فرنسا في الحرب العالمية الثانية، توقفت المعامل عن النشر، وخبأت نتائجها في سراديب أكاديمية العلوم، والتحق جوليو عضوا في المقاومة الفرنسية.

اكتشف جوليو أن النيوترونات لابد أن تبطئ من سرعتها ليتم امتصاصها بكفاءة بواسطة الأنوية المنشطرة (مثل الكرة البطيئة يسهل اقتناصها عن الكرة السريعة)، وقد وجد أن أفضل مادة لإبطاء سرعة النيوترونات هي النظير الثقيل للهيدروجين المسمى ديوتيريوم، وهو المكتشف حديثا بواسطة الكيميائي الأمريكي هارولد يوري. يميل الهيدروجين العادي إلى امتصاص النيوترونات الساقطة عليه، لكن الديوتيريوم الذي يملك بالفعل نيوترونا زائدا في نواته يقوم بالعمل على أفضل وجه. وبالإضافة إلى ذلك فإن «الماء الثقيل»، وهو الماء الذي حل فيه الديوتيريوم محل الهيدروجين، يمكن أن يصب بسهولة حول هدف النيوترونات. حصل جوليو على الماء الثقيل الوحيد الموجود في فرنسا وأمنه بعيدا عن اللجنة العسكرية طوال فترة الحرب. كان جوليو يفكر في وكان غيره كذلك يفكر أن الطاقة المنطلقة من تفاعل انشطار نووي متسلسل يمكن أن تصنع قنبلة جيدة.

لم تكن الولايات المتحدة في حال حرب بل كانت ما زالت تنعم بالسلام، ولذلك تطورت الأفكار حول المتفجرات الفائقة بشكل أبطأ. وقد كتب أينشتاين إلى الرئيس روزفلت (مدعوما بثلاثة من الفيزيائيين الأمريكيين من أصل مجري، بمن فيهم إدوارد تيلر الذي سنلقاه لاحقا) شارحا إمكان الحصول على قنبلة انشطارية، ويعرف هذا الخطاب باسم خطاب أينشتاين. عين روزفلت مجموعة لتدارس المشكلة في ربيع العام 1940 وقد وجدت المجموعة أن التفاعل المتسلسل قد يكون ممكنا، لكنه لم يثبت بعد. ووفرت الحكومة الأمريكية بعض التمويل.

بدأ العمل في جامعة كولومبيا حيث كان معمل فيرمي واستقر الرأي على أن هناك نظيرا معينا لليورانيوم، وهو اليورانيوم ـ 235، هو المسؤول عن تفاعل الانشطار في اليورانيوم، وأن الجرافيت ـ الصورة اللينة سهلة التشكيل من الكربون ـ هو مبطئ للنيوترونات. وعبر القارة وفي بيركلي بكاليفورنيا أعلن رسميا اكتشاف أول عنصر من عناصر ما بعد اليورانيوم. وكما اتضح فيما بعد، كان فيرمي يقوم بتخليق عناصر ما بعد اليورانيوم ـ مع أن النواتج التي كان يدعي بأنها من عناصر ما بعد اليورانيوم لم تكن كذلك ـ وقد اكتشف أول عنصر من سلسلة ما بعد اليورانيوم وهو النبتونيوم (عدده الذري 93) في نواتج انشطار تفاعل من طراز تفاعلات فيرمي. اكتشف إدوين ماكميلان أن شظايا الانشطار الخفيفة كانت تتطاير مبتعدة عن عينة اليورانيوم المقذوفة، وقد كان يجمعها على صفائح من ورق السجائر مرصوصة حول العينة. وقد اكتشف أحد نواتج الانشطار الثقيلة التي لم تطر بعيدا عن اليورانيوم هدف القذف، وقد ثبت أنها ناتج امتصاص النيوترونات بواسطة اليورانيوم ـ 238، الذي يتفكك إلى نظير للعنصر 93، النبتونيوم.

جلين سيبورج

قرر جلين سيبورج الكيميائي أن دراسة كيمياء عناصر ما بعد اليورانيوم الجديدة فكرة جيدة، وبالذات لأن النظرية النووية تنبأت بأن نتائج التحلل الإشعاعي للعنصر الرقم 93 سيكون نظير العنصر 94 ومن المرجح أن يكون قابلا للانشطار (أي ينشطر إذا قذف بنيوترونات منخفضة الطاقة) مثل

اليورانيوم ـ 235. وفي العام 1940 استخدم سيبورج ومعه أحد المعلمين في بيركلي، واسمه جوزيف كنيدي، سيكلوترون لورانس المطور حديثا ـ وهو تصميم يستخدم المجال المتردد لتسريع الجسيمات المشحونة ـ لإنتاج ما يكفي من العنصر 94 لدراسته كيميائيا. اقترح سيبورج على أحد طلاب الفرقة الثانية، واسمه آرثر واهل، أن يقوم بعمل مخطط لفصل النبتونيوم والعنصر الجديد، وأن مثل هذا المخطط سيكون رسالة جيدة للحصول على درجة الدكتوراه، واقترح عليه كذلك أن يتعاون مع ماكميلان.

كانت مجموعة سيبورج تضع عيّنة من نترات اليورانيوم في طريق شعاع النيوترونات من السيكلوترون للحصول على عيّنة. اكتشفت المجموعة في هذه العيّنة عنصرا يختلف كيميائيا عن كل العناصر الأخرى المعروفة: لقد صنعوا البلوتونيوم، وهو الاسم الذي أعطى للعنصر الجديد الرقم 94. (كان يشار إلى العنصرين 93, و94 في أثناء الحرب بالشفرة، فكان النبتونيوم يسمى «فضة» والبلوتونيوم «نحاس» تمييزا له عن النحاس الطبيعي)[17]. كانت العيّنة تحفظ في صندوق للسيجار أهدي إليهم من لويس.

وعندما تراكم لدى مجموعة سيبورج ما يكفي من البلوتونيوم للدراسة، اكتشفت المجموعة أن نظيرا معينا للبلوتونيوم، هو البلوتونيوم ـ 239 كان أكثر فعالية من اليورانيوم ـ 235 في عملية الانشطار. لكن لا يمكن إنتاج البلوتونيوم إلا بكميات ضئيلة فقط ـ إلى أن قصف اليابانيون بيرل هاربر، عندئذ أصبحت المصادر والميزانيات متاحة للعمل على العناصر القابلة للانشطار.

قررت حكومة الولايات المتحدة العام 1942 أن تعمل على تطوير جميع الطرق الواقعية لإنتاج البلوتونيوم ـ 239، وفصل اليورانيوم ـ 235. استدعي الفيلق الهندسي الحربي للمساعدة في المشروع، وأُسس له مكتب في مانهاتن بمدينة نيويورك. وأصبح يطلق عليه المكتب الهندسي لمنطقة مانهاتن وأصبح المشروع يعرف باسم مشروع مانهاتن.

مشروع مانهاتن

كان مشروع مانهاتن هائلا: أنفق المشروع بليون دولار في العام حتى العام 1944 وانتهى بإمكانات وإنشاءات منتشرة من جنوب كارولينا في الجنوب

الشرقي إلى واشنطن في الشمال الغربي. وكان يمثل تحديات هندسية وعلمية، وقد قدم المشروع فرصا للعديد من المهندسين والعلماء بمن فيهم القليل من الأمريكان من أصل أفريقي مثل الكيميائيين مودي دانيال تايلور، ولويد ألبرت كوارتمان.

كان هناك خياران بالنسبة لمادة القنبلة ـ اليورانيوم والبلوتونيوم ـ وكانت هناك مشاكل لكل منهما. كانت مشكلة اليورانيوم هي إثبات أنه قادر على القيام بتفاعل متسلسل ذاتي الدعم، أما مشكلة البلوتونيوم فكانت إنتاج ما يكفي منه لصنع قنبلة. وكان هذان الهدفان مرتبطين كما اتضح فيما بعد: فلإنتاج كمية كبيرة من البلوتونيوم يلزم كمية كبيرة من النيوترونات الحرة، وأفضل مصدر لهذه النيوترونات هو تفاعل انشطار متسلسل ذاتي الدعم. وأصبحت تجارب المفاعل التي انتقلت إلى جامعة شيكاغو، تحت إدارة فيرمي.

كان مفاعل اليورانيوم مُقاما على ملعب اسكواش في الجامعة (كان هذا المكان هو الذي يهمل فيه الحراس لبس معاطف الفراء لتقيهم من البرد). أطلق عليه CP-1 (كومة شيكاغو الرقم 1)، وقد سميت الكومة الذرية لأن الأمر كان كما يلي: كان المفاعل يتكون من كومة من الأوعية المحتوية على أكسيد اليورانيوم تتخللها قوالب من الجرافيت منتشرة هنا وهناك. وكان في قاع المفاعل مصدر للنيوترونات لتنشيط بداية التفاعل. أما سيقان الكادميوم المخصصة لامتصاص النيوترونات فكان يمكن إدخالها للتحكم في العملية. تمكنت مجموعة فيرمي من عرض إمكان الحصول على تفاعل متسلسل لليورانيوم بنهاية العام 1942.

كان هدف مفاعل فيرمي هو التأكد من المبدأ فقط. ولإنتاج الكمية المطلوبة من البلوتونيوم من أجل القنبلة، بُني مصنع هانفورد في ولاية واشنطن. كانت سرعة إنجاز المشروع وشموليته من الكبر بحيث تم توقيع عقد مشروع هانفورد قبل أن يبدأ مفاعل فيرمي العمل بالفعل. وفي مصنع هانفورد، كان على سيبورج ومعاونيه العمل على فصل كميات من البلوتونيوم تقدر بالكيلوجرامات مستخدمين في ذلك الخواص الكيميائية المستنتجة من دراسة ميكروجرامات فقط. كان يمكن أن يكون هذا التحدي معقولا لو كان البلوتونيوم يشغل مكانا في الجدول الدوري يمكن منه استنتاج خواصه

من العناصر المحيطة، غير أنه لم يكن واضحا تماما أين ينتمي البلوتونيوم في الجدول الدوري. وفي العام 1944 اقترح سيبورج، بناء على الخواص الكيميائية لهذه العناصر، أنها تكون كتلة أخرى من 14 عنصرا مثل سلسلة اللانثانيدات. وأطلق عليها سلسلة الأكتينيدات. وقد استخدم الوضع الجديد لهذه العناصر الجديدة لاستنتاج خواصها الكيميائية. وقد نصحوه بعد الحرب بألا ينشر صورة الجدول الدوري الجديدة التي استحدثها لأن ذلك سيجهز على سمعته العلمية، لكن سيبورج قال في نفسه «ليس عندي أي سمعة علمية لأخسرها لذلك قمت بنشر هذا الموضوع على أي حال»[18].

لا تنسحب الخواص المعينة لعيّنات مقدارها ميكروجرامات على عيّنات تقدر بالكيلوجرامات. وعلى المستوى الصناعي فإن الانتقال من الميكروجرامات إلى الكيلوجرامات يتم على مراحل. غير أن المجهود الحربي لم يكن يملك الوقت الذي يضيعه على هذه المراحل، وفي هانفورد أنجزوا كل شيء في قفزة واحدة عظيمة. كانت هناك تحديات تقنية كثيرة غير تحديات التحول من كميات ضئيلة إلى كميات كبرى. فكان لابد من فصل البلوتونيوم عن اليورانيوم بمجرد أن تم تشعيع اليورانيوم بالنيترونات. كان البلوتونيوم موجودا بكميات ضئيلة جدا، الأمر الذي يتضمن الحاجة إلى تقنية حساسة، لكن خطوات الفصل كانت صارمة ـ أي غير حساسة للأخطاء المتوسطة ـ ذلك لأن تنفيذ كل عملية الفصل كان يتم عن بعد. كان الإشعاع الصادر عن المواد، وهدف القذف، ونواتج الانشطار من الشدة بحيث لا يتمكن العاملون من الاقتراب من أوعية الفصل. لكن للطرافة، اكتشفت عملية كيميائية للفصل وطُورت وبدأت تعمل منذ البداية.

وقد أثبت التعامل مع اليورانيوم أنه مليء بالتحديات. وبشكل أو بآخر كان الكيميائيون يقومون بفصل اليورانيوم عن نفسه. ذلك لأن اليورانيوم ـ 235 المطلوب هو نظير لليورانيو الشائع ـ 238 ومطابق له كيميائيا، ولا يكون إلا أقل من واحد بالمائة من اليورانيوم الطبيعي. وقد تضمنت العمليات الفيزيائية التي صممت لغرض الفصل السماح لغاز سادس فلوريد اليورانيوم الحات (الذي يسبب تآكل الفلزات) بالانتشار خلال حاجز مسامي من النيكل (حيث تنتشر مادة اليورانيوم الأثقل بسرعة أبطأ حتى إنه خلال عدد كاف من الخطوات يمكن أخيرا الحصول على مركب اليورانيوم ـ 235

نقيا بدرجة معقولة) وباستخدام مطياف كتلة عريضة المدى. كانت المواد المطلوبة لعملية فصل اليورانيوم تضم بولمرات مقاومة لسادس فلوريد اليورانيوم، ومواد نشطة مثل الفلور نفسه.

وهنا وجد التفلون الذي اخترعه بلانكيت التطبيق الرئيسي له، كما طُورت بولمرات ذات درجة فلورة عالية من أجل هذا المشروع.

وحتى بعد أن تم الحصول على المواد والفكرة ظل تصميم وحشد الإمكانات لصنع القنبلة باقيا.

القنبلة

كان جزء المشروع المخصص لتصميم القنبلة الحقيقية وجمعها يسمى مشروع Y. اختير موقع مشروع Y في خريف 1942 في صحراء ولاية نيومكسيكو وفي مدرسة مهجورة للبنين اسمها لوس ألاموس. جُندت الكوادر البشرية للمشروع في تزامن مع اختيار الموقع. وفي السويد التي كان قد تم تهريب بور وأسرته إليها ومنها طار سرا إلى بريطانيا كما وصفنا سابقا. قام برحلة الهروب معه ابنه آجي الذي تحملها بشكل أفضل. باشر العمل مباشرة في مشروع مانهاتن حيث كان يطلق عليهما الاسم الحركي نيكولاس بيكر وابنه جيمس. غير أنهما كانا معروفين بأسماء أخرى في لوس ألاموس. وتم في عجالة منح الجنسية البريطانية إلى أوتوفريش، وبالعجالة نفسها أُعفي من الخدمة العسكرية التي تفرضها المواطنة، وأعطوه جواز سفر وتأشيرة دخول إلى الولايات المتحدة ورحّلوه إلى مشروع مانهاتن، مثل ألماني منفي آخر اسمه كلاوس فوتشس (سنسمع عنه فيما بعد). كان يشرف على الأبحاث الفيزيائي الأمريكي جوليوس روبرت أوبنهايمر الذي وصفه سيجريه بأنه: «سريع فوق العادة... لكنه واع بإمكاناته وميال للتكبر، وهي نقطة الضعف التي جمعت له الكثير من الأعداء»[19]. غير أنه أمام العجلة التي يعاني منها المشروع كانت الخلافات الشخصية تنحى جانبا. كان أوبنهايمر رئيسا كفؤا للمشروع.

كان هناك الكثير ليفعله الكيميائيون في مشروع مانهاتن. فقد كانت درجة نقاء المادة القابلة للانشطار مهمة لأسباب عدة. فالمادة النقية هي الأخف وكان ذلك مهما لأن القنابل ستنقل بالطائرات. وبالإضافة إلى ذلك

كان الكثير من الشوائب يمتص النيوترونات، وبذلك فإن وجودها قد يتسبب في إعاقة التفاعل المتسلسل؛ وكان لابد من تطوير تقنيات التحليل لتتمكن من قياس الكميات الضئيلة من الشوائب. وهناك انطباع بأن الحصول على تفاعل نووي متسلسل أمر سهل وأن هذا التفاعل يحدث تلقائيا في أي مادة قابلة للانشطار. غير أن التفاعلات المتسلسلة تتطلب في الحقيقة حدا أدنى من كمية المادة (الكتلة الحرجة)، وإلا أخفق التفاعل المتسلسل مثل أي تفاعل آخر يفقد وقوده. كان لا يمكن صنع القنبلة لو اتضح أن الكمية المطلوبة أطنان عدة (كما بينت بعض الحسابات السابقة المبنية على بيانات خاطئة). وقد اتضح أن الكمية المطلوبة من اليورانيوم ـ 235 أو البلوتونيوم ـ 239 لصنع القنبلة لا تتعدى بضعة أرطال. لكن لابد أن تكون المادة في الهيئة المناسبة. فإذا كانت المادة على شكل لوح طويل، فإن التفاعل سيخفق لأن معظم النيوترونات ستهرب دون أن تتصادم بأنوية أخرى وتشطرها. ونظرا لأن الكرة هي الشكل المناسب فقد كان على الكيميائيين أن يدرسوا ميتالورجية البلوتونيوم واليورانيوم (وهما فلزان)، ليتمكنوا من إنتاج أجزاء القنبلة التي من المفترض أن تنتهي على هيئة كرة. للبلوتونيوم خمس صور تآصلية مميزة موجودة بين درجة حرارة الغرفة ودرجة انصهار الفلز، من هنا كانت المشكلة هي اكتشاف الصورة القابلة للطرق والثابتة في درجة حرارة الغرفة. وكان لابد من وقاية سطح الفلزين من الصدأ، حيث إن البلوتونيوم بالذات يصدأ بسهولة في وجود الماء والهواء. كان يُنظف سطح البلوتونيوم بعناية ثم يطلى بالكهرباء أو بالبخر بطبقة فلزية مثل الفضة. ومع ضيق الوقت المتاح، إلا أن الكيميائيين قد فحصوا خواص هذا العنصر الأول في سلسلة ما بعد اليورانيوم والذي جُمع بكميات معقولة. وقد اكتشفوا أن البلوتونيوم له خاصية كهربية موجبة عالية وله أعلى مقاومة كهربية (أقل توصيلا) عن أي فلز آخر اكتشف حتى ذلك الحين.

كانت المشكلة الكبرى التي تواجه الفيزيائيين والمهندسين هي حشد وتركيب الكتلة الحرجة بسرعة تكفي لجعلها تنفجر ولا تشتعل قبل الأوان وتخفق القنبلة. ومن أجل ذلك استخدموا تصميمين: جهاز على شكل بندقية يطلق قطعتين معا ليكونا الكتلة الحرجة في حالة اليورانيوم؛ أما البلوتونيوم فقد صمم له انفجار تقليدي إلى الداخل يدفع مجموعة من الكرات (كتلة

كل منها أقل من الحرجة) لتكون الكتلة الحرجة. وقد وجد الكيميائيون في مشروع مانهاتن أنفسهم يمضون جزءا كبيرا من وقتهم يتدارسون في كيمياء المتفجرات العادية.

كانت سرعة ودقة إنجاز العمل (تزاوج نادر في العلوم) أمرا رائعا. لكن الدافع وراء ذلك كان الآتي: قوات المحور تمتلك كل المعلومات الأولية التي بدأت منها قوات الحلفاء. كانت تبذل الجهود في ألمانيا وفي اليابان لصنع القنبلة، لكن جهود اليابانيين لم يدعمها التمويل الكافي، كما أن كمية اليورانيوم المتاحة لهم كانت قليلة. وفي ألمانيا كان العمل تحت قيادة هايزنبرج يفترض أن المطلوب أطنان عدة من اليورانيوم لحدوث الانفجار، وأن المادة الوحيدة القادرة على الإبطاء من سرعة النيوترونات هي الماء الثقيل. (هناك تخمينات تقول إن هايزنبرج لم يشأ أن يضع تحت تصرف هتلر سلاحا نوويا، وعليه كان يدير المشروع بغرض تضليل الجهود، الأمر الذي كان محل تحديات صاخبة). وعموما، سواء أأثمرت أم لم تثمر جهود المحور فإنها حمست جهود الحلفاء التي سارت بكفاءة عالية وجلد وخبرة.

كانت هناك مخاطر مخبأة شأن أي عملية جديدة. فقد نجا فريش بأعجوبة بينما كان يجري تجاربه لتحديد أقل كمية مطلوبة للكتلة الحرجة. كانت مجموعة من هذه التجارب تسمى سلسلة التنين، وكان اسمها مشتقا من التعبير «وخز ذيل التنين». كانت كتلة أقل من الحرجة تسقط في منحدر عمقه عشر أقدام مارة في طريقها بكتلة أخرى أقل من الحرجة. وفي لحظة اقتراب الكتلتين من بعضهما وتكوين كتلة حرجة يشتعل مؤشر ضوئي في جهاز اكتشاف الإشعاع مبينا الوصول إلى مستوى مرتفع من الإشعاع. وفي مجموعة أخرى من التجارب تسمى سلسلة «جوديفا» كان فريش يضع مصدرا صغيرا للنيوترونات فوق كرة من فلز اليورانيوم ـ 235 العاري (ليدي جوديفا). ثم يبدأ بعدها في إضافة طبقات من اليورانيوم باحتراس وعينه على عداد جايجر. وفي إحدى هذه التجارب انحنى فريش فوق التركيبة ليضيف الطبقة الثانية عشرة والتي من المفترض أنها لن توصل إلى الكتلة الحرجة بعد، وعندها أخبره أحد مساعديه أن العداد توقف عن العمل. وفي الواقع كان العداد قد تلقى جرعة ضخمة من الإشعاع تزيد عما يمكن قياسه. لم يتخيل فريش هذا الأمر؛ كل ما أدركه في ذلك الحين أن المساعد

على وشك رفع العداد، الأمر الذي كان سيغير هيئة التجربة. استدار فريش ليوقف المساعد فرأى عندها أن كل أضواء الإشارة كانت مشتعلة مشيرة إلى الشدة القصوى للإشعاع. أيقن فريش أن جسمه كان يعكس النيوترونات ويردها ثانية إلى التركيبة مما جعله بهذا الشكل يصل إلى الحالة الحرجة. ثم نزع بسرعة الطبقة المضافة من اليورانيوم بعيدا عن المصدر. وقام بحساب كمية الإشعاع التي تلقاها فوجد أنه يمكن أن يعيش (وقد حدث بالفعل) كما حصل على البيانات المطلوبة، وأصبح قادرا على استكمال حسابات الكتلة الحرجة.

كانت درجة تعقيد المشروع وكل الجهود والدعم المبذول تعني أن القنابل الذرية (التسمية خاطئة في الواقع والاسم الأدق هو القنبلة النووية) لا يمكن أن تصبح متاحة قبل العام 1945 الأمر الذي جعل اليابان هي الهدف بدلا من ألمانيا. وبحلول يوليو سنة 1945 كانت القنبلة ذات الانفجار الداخلي جاهزة للاختبار قبل موعدها بأيام عدة. كان الاسم الحركي لاختبار القنبلة هو «الثالوث المقدس» وليس معروفا من الذي اختار هذا الاسم ولماذا. أجري الاختبار على قمة برج من الصلب في ألاماجوردو في نيومكسيكو. كتب فريش:

فجأة غمرت التلال أضواء شديدة؛ كما لو أن أحدا قد أضاء الشمس، لم يكن هناك أي صوت... كان الأمر مفاجأة لي؛ فقد كنت أتوقع ومضة ضوء وجيزة لكن هذه استمرت بضع ثوان، بعدها فقط بدأ الظلام... ثم عندما ظننت أن الأمر قد انتهى استدرت فرأيت هذه الكرة النارية الرائعة تامة الاستدارة في حجم الشمس وترتبط مع الأرض بساق رمادية قصيرة... [20].

لفح ضوء شديد كل المنطقة. وقد أحس مراقب آخر اسمه كينيث بيمبريدج بسخونة في رقبته لكنه لم يهتم. فقد كان هو المسؤول عن اكتشاف السبب لو أخفقت القنبلة. وعندما رأى الانفجار استدار ناحية أوبنهايمر وقال: «الآن كلنا أولاد كلب»[21].

كان أول استخدام (والوحيد حتى الآن) لقنبلة يورانيوم ـ 235 ذات بندقية الإطلاق واسم التدليل «الفتى الصغير» هو قذف مدينة هيروشيما في اليابان محمولة على قاذفة B-29، اسمها اينولاجاي، يوم الاثنين السادس من أغسطس العام 1945 في تمام الساعة الثامنة والربع صباحا (بالتوقيت المحلي). وقد كتب شاهد عيان يقول:

كان الناس في هيروشيما قد بدأوا يوم العمل لتوهم. فجأة انطلقت صافرات الإنذار محذرة من اقتراب طائرة، لكن الصافرات توقفت وانصرف الجميع لأعمالهم... اعتقدت أنني سمعت صوت طائرة، لكنها بدت بعيدة ومرتفعة جدا...

ضربتني ومضة ضوء رعدية وصوت انفجار هائل... احترقت عيناي، وأظلم كل شيء حولي ـ أمسكت بشقيقتي ـ أخذ كل شيء يتلاشى ـ ظننت أنني ملاق حتفي.

استيقظت، كنت على قيد الحياة. لكن منزلي قد انهار تماما. وعندما زحفت إلى الخارج اكتشفت أن كل هيروشيما قد انهارت. تطاير كل شيء وأصبح ممزقا. كان كل شيء يحترق.

كانت شواطئ النهر مزدحمة بالناس فقد أراد كل واحد أن يكون قرب الماء. كانت هناك طفلة تصرخ وهي تحاول إيقاظ أمها الميتة.

كنت محظوظا جدا فقد كانت كل أسرتي على قيد الحياة وكنا معا نستظل في كهف.

كان وجه أبي محترقا بشدة ومتورما. وكان ظهر أخي مليئا بقطع الزجاج من النافذة التي كان يجلس تحتها. أما شقيقتي الكبرى فقد انغرست أسنانها في شفتيها لأنها كانت تأكل باستخدام عيدان الطعام[22].

ألقيت قنبلة الانفجار الداخلي البلوتونيوم ـ 239، ذات اسم التدليل «الرجل السمين»، على ناجازاكي بعد ثلاثة أيام. وفي صباح هذا اليوم كان المجلس الأعلى لإدارة الحرب في اليابان مجتمعا في ملجأ رئيس الوزراء المحصن ضد العنف. كان المجتمعون في ورطة لأن البعض كان يرغب في استمرار الحرب. غير أنه بعد إلقاء القنبلة الثانية استسلمت اليابان.

كان هناك جدل شديد ـ وما زال ـ حول ما إذا كان لابد من استخدام القنبلة الذرية من عدمه، لكنه نوع من الجدل العقيم. فالموت هو الموت سواء للمدنيين أو للعسكريين، وسريعا كان أم بطيئا. والغريب أن يدور الجدل حول من يجب أن يموت وبأي عدد وبأي طريقة.

إذا نحينا جانبا إلقاء القنابل في أثناء الحرب، فإن هموما وقلقا قد أثير حول إجراء التجارب النووية في الحرب وفترة ما بعد الحرب. كما أثيرت هذه الهموم حول بقايا التفجيرات النووية والسقف الغباري الذري المتساقط بعدها. كانت حقيقة السقف الغباري الذري المتساقط معروفة تماما. (كان أحد مؤلفي هذا الكتاب يمتلك «مجموعة اكتشاف الإشعاع»[23] ـ تم شراؤه لها عندما كانت صغيرة ـ ومعها مجموعة التجارب المرافقة. وتقترح إحدى هذه التجارب إجراء سلسلة من القياسات بعد بضعة أيام من الإعلان عن إجراء تفجير نووي. وتؤكد هذه التجارب إمكان الكشف عن أي زيادة محسوسة في الخلفية الإشعاعية بعد أيام أو حتى أسابيع من التفجير

النووي المعلن). ومع أن السقف الذري الغباري المتساقط كان حقيقة واقعة إلا أن الجدل حول تأثيره استمر طويلا. كان لينوس بولنج يؤكد أنه يسبب الزيادة في الإصابة بالسرطان، غير أن إدوارد تيلر كان يقول بفائدة قليل من الإشعاع، وأن أسوأ ما يمكن أن يحدث يشبه في خطورته قليلا من الوزن الزائد عند الإنسان. قاد بولنج حملة لإيقاف إجراء التفجيرات النووية في الهواء. تضمنت هذه الحملة إعلان العصيان المدني، وقد منح بولنج جائزة نوبل للسلام يوم 10 أكتوبر العام 1962، اليوم الذي بدأ فيه سريان اتفاق حظر التجارب النووية.

أثير جدل آخر حول ما إذا كان لابد من إلقاء القنبلة الثانية. قام الاتحاد السوفييتي بصناعة واختبار قنبلته الخاصة سنة 1949. وقد كان معروفا أن أحد العلماء البريطانيين العاملين في فريق مشروع Y، وهو كلاوس فوتشس، كان عضوا في الحزب الشيوعي، وقد قام بتقديم معلومات إلى العلماء السوفييت. ونتيجة للتحقيقات اتضح أن هناك جواسيس أكثر، مثل هاري جولد الكيميائي من فيلادلفيا، وديفيد جرينجلاس العريف السابق بالجيش والذي كان يعمل في لوس ألاموس، وكذلك إيثيل وجوليوس روزنبرج. ونتيجة للقلق الناتج عن اشتغال الشيوعيين في المشروعات النووية، نُحِّيَ جويو من رئاسة لجنة الطاقة الذرية الفرنسية، لأنه هو وزوجته كانا قد التحقا بالحزب الشيوعي في أثناء الاحتلال الألماني لفرنسا. احتجزت سلطات الهجرة بالولايات المتحدة كوري أثناء رحلة لها هناك ورفضت عضويتها في الجمعية الكيميائية الأمريكية. وفصل روبرت أوبنهايمر من مشروع الطاقة الذرية لارتباطاته السياسية السابقة، وقُدِّم آخرون للمساءلة أمام لجان الكونجرس أو مكتب التحقيقات الفيدرالية وفقدوا بالتالي وظائفهم أو سمعتهم أو كلتيهما معا.

لم يجد الرئيس ترومان (كان روزفلت قد مات قبل بضعة أشهر من إلقاء القنبلة الذرية الأولى على اليابان) في هذا الجو صعوبة في تأمين التمويل لسلاح أشد فتكا هو السوبر، أو القنبلة الهيدروجينية.

السوبر

يكمن أساس قنبلة السوبر في الاندماج النووي وليس الانشطار.

والاندماج النووي هو ربط نواتين معا؛ وهو ظاهرة تتعلق بالعناصر الخفيفة وليست الثقيلة: فوقود السوبر هو نظائر الهيدروجين. ويطلق الاندماج ـ مثل الانشطار ـ كميات هائلة من الطاقة؛ ومصدر الطاقة الشمسية هو اندماج الهيدروجين ليكون الهيليوم. وقد جاءت فكرة استخدام الاندماج لصنع قنبلة أثناء حوار على الغداء دار بين فيرمي وتيلر العام 1924. كان هناك بعض الأبحاث التي أُجريت حول الاندماج كجزء من مشروع مانهاتن، غير أن قوة الدفع الأساسية كانت مركزة نحو قنابل انشطار اليورانيوم والبلوتونيوم. وبعد الحرب خُفضت ميزانيات مشروعات القنابل، لكن بعد أن أعلن الاتحاد السوفييتي تجربة القنبلة الذرية، شهدت لوس ألاموس أسابيع عمل مكثفة، وبدأ الكيميائيون في هانفورد يبحثون في طرق تشغيل التريتيوم، وهو أحد نظائر الهيدروجين.

ويقوم تفاعل انشطار نووي بتزويد تفاعل الاندماج بالحرارة اللازمة في آخر خطوة من خطوات تفجير السوبر، التي بمجرد أن تشتعل ينتشر تفاعلها مثل التفاعل الكيميائي الحراري العادي (مثل الاحتراق) ومن هنا جاءت التسمية «النووي الحراري». تمت أول تجربة للقنبلة النووية الحرارية، واسمها الحركي مايك، العام 1952، وقد سوَّت الجزيرة المرجانية الصغيرة في سلسلة جزر مارشال والتي حدث فوقها الانفجار. وربما يكون هذا السلاح قد حقق نبوءة ألفريد نوبل: «ربما تتمكن مصانعي من إنهاء الحرب أسرع مما تستطيع مؤتمراتكم للسلام»[24]. أصبحت الحرب في الخمسينيات «باردة» و«محدودة» وكان هناك سقف غباري ذري متساقط آخر من تجربة مايك ذو طبيعة كيميائية أكثر منها سياسية: فقد اكتشف العلماء أثناء فحصهم لحطام تفجير مايك، العنصرين الرقمين 99 و100: أينشتاينيوم وفرميوم.

العناصر الجديدة

بدأت الفراغات في الجدول الدوري في الامتلاء حتى البلوتونيوم، وذلك بعد أن استقر غبار الحرب العالمية الثانية. فقد اكتشفت مارجريت بيري، الفنية في سن الثلاثين والتي كانت تعمل مع ماري كوري، العنصر رقم 87 وأطلقت عليه اسم فرانسيوم. وقد أتمت ذلك قبل أن تحصل على درجة الدكتوراه. والفرانسيوم هو آخر عنصر موجود في الطبيعة بكميات أكبر

من أن توصف بالضآلة. وقد قام سيجريه ومعاونوه بتحضير العنصر رقم 43 باستخدام القذف بالسيكلوترون وأطلقوا عليه اسمه تيكنيتيوم، وحضروا العنصر رقم 61 البروميثيوم وهما غير موجودين بالمرة على الأرض. وقد تمت تسمية هذا العنصر بذكاء لأنه اكتشف في طيف أحد نجوم مجرة اندروميدا، وكأنه بشكل أو بآخر قد سرق من السماء، تماما كما سرق بروميثيوس النار من الآلهة. كما تم تحضير العنصر الرقم 85 بالقذف أيضا، واسمه استاتين (وتعني غير مستقر) وهو الهالوجين الناقص في الجدول.

واصل سيبورج ومعاونوه[25] بحثهم عن المزيد من عناصر ما بعد اليورانيوم، بعد النجاحات التي حققوها مع النبتونيوم والبلوتونيوم. (كان ضمن هؤلاء المعاونين علماء وطلاب أبحاث ساهموا بأفكارهم وبعملهم ولذا فنحن نعتذر، إذ كان يجب أن نضمنهم في هذه الملحوظة). وقد استخدموا القذف بالسيكلوترون وعددا من الأهداف وتقنيات كيميائية ميكروية كان هاهن قد طورها. وقد اكتُشف العنصران أمريكيوم وكوريوم (العنصران الرقمان 95، 96) أثناء الحرب في معمل الميتالورجية بجامعة شيكاغو. غير أن الأمر ظل سرا ولم يمنح العنصران أي أسماء إلا بعد الحرب. وكرد فعل للعمل المكثف الذي أحاط باكتشافهما فقد أطلق عليهما «ديليروم» و«بانديمونيوم». وقد جاء أول إعلان رسمي عن اكتشاف العنصرين 95، 96 في برنامج إذاعي قومي اسمه «برنامج أسئلة الأولاد» حيث ظهر سيبورج ضيفا في يوم الهدنة، 11 نوفمبر سنة 1945. وقد سمي أمريكيوم لأنه يقع تحت عنصر يوروبيوم في الجدول الدوري وتشبها به. وأطلق اسم كوريوم تشبها بالجادولينيوم الذي كان يظن أنه على اسم جوهان جادولين. (وعلى الرغم من أن مؤلفي هذا الكتاب لا يجرؤان على الطعن في كيمياء سيبورج، إلا أننا نشير إلى أن تسمية جادوليوم جاءت من المعدن جادولينايت وليس من اسم الرجل. وعلى ذلك كان يمكن تسمية كوريوم باسم بيتشبلنديوم، غير أن هناك حدودا جمالية للتسميات).

وقد خُلِّق البيركليوم (العنصر 97) بعد الحرب في سيكلوتروم بيركلي، وكذلك خُلِّق هناك كاليفورنيوم (الرقم 98). وفي تعليق لمجلة «نيو يوركر» على هذه الاكتشافات، جاء في العمود «حديث المدينة»:

تكتشف الذرات الجديدة بمعدلات مرتفعة بكل ما في الكلمة من معنى وفي مشهد أخاذ. وقد أطلق العلماء من جامعة كاليفورنيا في بيركلي، وهم الذين اكتشفوا العنصرين 97 و98، الاسمين بيركليوم وكاليفورنيوم عليهما. وتصدمنا هذه الأسماء التي تدل على عجز مدهش في البصيرة العامة لجزء من الجامعة يقع في ولاية حيث ازدهرت ظاهرة الإعلام لدرجة تقارب ربما فقط الإنجيل. وربما سيكتشف علماء كاليفورنيا المشغولون ذرة أو ذرتين في هذه الأيام، وربما تكون الجامعة قد سبقتنا بالفعل في ذلك، ولكنها فقدت وللأبد فرصة تخليد نفسها في جدول الذرات لو أنها اتبعت الترتيب التالي في التسمية: يونيفيرستيوم (97)، وأوفيوم (98)، وكاليفورنيوم (99)، وبيركليوم (100)..

ورد عليهم الفريق المكتشف قائلا:

أخطأت «حديث المدينة» الهدف عندما قامت بالتعليق على تسمية العنصرين 97، 98. وربما نكون افتقدنا بعض الثقة في النفس لكننا لم نفتقد البصيرة عندما سمينا العنصرين «بركليوم» و«كاليفورنيوم». وبتسميتنا هذه نكون قد سبقنا الاحتمال المرعب أن يجيء بعض أعضاء بنيويوركر باكتشاف العنصرين 99، 100 بعد العنصرين 97، 98 «يونيفرستيوم» و«أوفيوم». فيطلق عليهما الأسماء «نيويوم» و«يوركيوم»[26].

ردت النيويوركر «نحن بالفعل نقوم بالعمل في معاملنا المكتبية على اكتشاف النيويوم واليوركيوم. ولكن حتى الآن لا نملك سوى الأسماء».

ومع زيادة عدد العناصر الجديدة، كان عدد الباحثين المشاركين في اكتشافها يزداد. كانت أسباب ذلك هي: كانت العناصر تصبح أقل استقرارا وأقصر عمرا كلما ازدادت ثقلا وتصبح تقنية التعامل مع المللي ثانية والمللي جرام في غاية الأهمية[27]. كان العنصر مندليفيوم (101) يُنتَج ذرة ذرة حرفيا، ولقصر «نصف عمره» كان العلماء يركضون خلفه من لحظة القذف إلى معمل التحاليل. كتب سيبورج:

كان ذلك حدثا في معمل الإشعاع، و[كانوا] يوصلون أجراسا للإنذار في مدخل العدادات بحيث تطلق إشاراتها كلما تحللت ذرة من العنصر 101. كان ذلك طريقة فعالة في تحديد حدث نووي، غير أنه سرعان ما اكتشفت طرق توصيل أكثر هدوء كانت اقترحتها إدارة الحريق[28].

أصبحت المجموعات العاملة أكثر عالمية وضمت رجالا ونساء من أصول آسيوية، وآسيوية أمريكية، وأفريقية، وأفريقية أمريكية، وأوروبية، ومن جنوب أمريكا، ومن أصول أخرى. لم يكن السيكلوترون في بيركلي هو الوحيد في العالم. فقد أعلن اكتشاف العنصر نوبليوم (102) بواسطة باحثين في معهد نوبل بالسويدالعام 1957، غير أنه لم يتمكن أحد من التحقق من ذلك. وقد أعلنت مجموعة في موسكو اكتشافها العنصر 102 العام 1958،، لكنها لم تتمكن من تقديم ما يكفي من المعلومات بحيث يصبح تعيين العنصر

ممكنا. ويعتبر اكتشاف عنصر النوبليوم من إنجازات مجموعة بيركلي حيث أجريت أكثر الأبحاث ثقة.

وقد تم انتقاء لورانسيوم (103) من خليط نتج عن القذف سنة 1961، لكن الأمر تعرّض لجدل شديد من مجموعة موسكو مرة أخرى. كان عنصر دوبنيوم (104) أول عنصر في سلسلة ما بعد الأكتينيوم ويعتقد أنه بداية قسم جديد في الجدول الدوري من العناصر الانتقالية. وقد اكتشف الدوبنيوم في دوبنا بروسيا، كما اكتشف في بيركلي في كاليفورنيا، وكذلك العنصر جوليوتيوم (105). وقد اقتُرِح الاسم نلزيوريوم للعنصر 107 بواسطة المجموعة الروسية التي أنتجته. غير أن بوريوم أصبح هو الاسم المقبول. وقد أصبح الاسم الرسمي للعنصرين 108 و109 هو هاهينوم ومايتنريوم على الترتيب. وكان الاسم سيبورجيوم قد اقتُرح للعنصر 106، لكن اختار الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (اللجنة الدولية المفوضة في التسميات) الاسم رذرفورديوم لهذا العنصر يوم 31 أغسطس العام 1994، على الرغم من بعض المعارضات [29]. وتدعي مجموعة روسية وأخرى ألمانية أسبقية كل منهما في إنتاج العنصر 110 والذي لم يختاروا له اسما أثناء هذا الجدل.

وبالإضافة إلى الأهمية العلمية والفلسفية فقد وجدت النظائر الأطول عمرا لبعض هذه العناصر الغريبة تطبيقات عملية، بما في ذلك الوحدات المساعدة للطاقة النووية في الفضاء (وحدات SNAP). وهي وحدات كهروحرارية من عناصر ما بعد اليورانيوم تستخدم لتوليد الكهرباء في الأقمار الصناعية، وكمصدر للطاقة في أجهزة تنظيم ضربات القلب على سطح الأرض. ومع أنه قد تم استبدال المصادر المشعة في أجهزة ضربات القلب على نطاق واسع ببطاريات الليثيوم، لأنها أرخص تكلفة وأسهل تصميما (وقد يكون الخوف من الأشياء النووية أحد الأسباب كذلك)، إلا أن عمر بطاريات الليثيوم حوالى عشر سنوات بينما يدوم المصدر الإشعاعي ثلاثين عاما. وربما عادت هذه المصادر طويلة العمر مرة أخرى للاستخدام مع تقدم تقنية الجراحات الترقيعية الدقيقة.

وجدت النظائر المشعة لعناصر الجدول الدوري الرئيسية كذلك تطبيقات حيوية في تشخيص وعلاج الأمراض. وكان رائد هذه التطبيقات في منتصف

القرن العشرين هو: الفيزيائي الكيميائي البيولوجي جورج فون هيفيزي.

جورج فون هيفيزي

هناك قصة قد تكون حقيقية ـ وقد لا تكون ـ تقول إن أوتو فريش عندما كان يبحث عن كلمة لكي يصف بها العملية، وبينما كان هو وليز مايتنر على وشك اختيار الكلمة المطلوبة التقيا بهيفيزي وطرحا عليه السؤال: ما الاسم الذي يطلقه البيولوجيون على عملية انقسام الخلية؟ أجاب هيفيزي «الانشطار»[30]. وهناك قصة أخرى ثابتة تروى عن هيفيزي، مضمونها أنه عند اجتياح النازي للدانمارك أنقذ هيفيزي ميداليات نوبل التي أودعت عند بور لحفظها بإذابتها في حمض والاحتفاظ بمحاليلها في زجاجات بيرة قديمة. أعيد استخلاص الذهب بعد الحرب وأعيد صك الميداليات من جديد.

كانت حياة جورج هيفيزي زاخرة بالأحداث بكل معنى الكلمة. فبالإضافة إلى كونه قد ساهم في اكتشاف الهافنيوم، فإنه كان أول من استخدم وفرة النظائر المكتشفة بواسطة فيرمي كمقتفيات للأثر في البيولوجيا، وقد حصل على جائزة نوبل وميدالية نوبل الخاصة به العام 1943. ولتطابق العناصر ونظائرها كيميائيا بحيث لا يمكن التمييز بينهما فإن الجسم يتعامل مع النظائر المشعة للعناصر كما لو كانت غير مشعة. والميزة هنا في أن أشعة جاما الصادرة عن النظائر المناسبة تخترق أنسجة الجسم إلى الخارج وبالتالي يمكن تتبع العناصر المشعة داخل الجسم، ويسمح ذلك للأطباء بالنظر داخل الأجسام دون تدخل جراحي أو ألم ـ وهي تقنية مكملة للتصوير بأشعة إكس. وبالإضافة إلى ذلك، فإن عناصر معينة تتركز في أجزاء معينة من الجسم، وعليه يمكن استخدام النظائر المشعة لهذه العناصر في معالجة مناطق خاصة في الجسم. وعلى سبيل المثال يتركز اليود في الغدة الدرقية وبالتالي يمكن استخدام اليود المشع في معالجات خاصة لهذه الغدة.

ومع كل هذه المساهمات الإيجابية للكيمياء الإشعاعية إلا أن عليها أن تحارب سمعتها السيئة. ازداد هلع الناس من حدوث محرقة نووية أو اكتشاف آثار التفجير النووي في الألبان، أو تكرار كارثة تشيرنوبل[31]، لدرجة أن

تقنية التصوير بالرنين النووي المغناطيسي ـ وهي تقنية معجزة ـ والتي تعتمد على الخواص المغناطيسية وليست الإشعاعية، قد وصفت بأنها التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI). وتسبب الناس في قطع مصدر عظيم للطاقة، فمازالت الطاقة النووية تعد من أنظف مصادر إنتاج الطاقة الكهربية، لأنها تنتج أقل كمية من المخلفات دون جدال. وفي أعقاب حادثة تشيرنوبل قد يكون الدفاع عن محطات الطاقة النووية أمرا في غاية الصعوبة. لكن الشيء بالشيء يذكر، ومحطات الطاقة النووية مازالت هي الأفضل ـ في سجل الأمان والبيئة من حرق الفحم والبترول في محطات القوى. وبالطبع، فإن استخدام أقل قدر من الطاقة هو أفضل الوسائل، وهو الذي يمثل التحدي لصانعي السياسات وعلماء الاجتماع[32].

وما يمكن إضافته هنا هو أن أكثر أجهزة كشف الدخان حساسية وأكثرها وثوقا تستخدم أمريكيوم ـ 241، وهي حقيقة علينا تذكرها كلما أمكن إنقاذ طفل من براثن الحريق.

وقد أصبحت الكيمياء الإشعاعية ـ التي ولدت في السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر لكنها نمت خلال القرن العشرين ـ هي بصمة القرن العشرين التكنولوجية، والذي أصبح يلقب بالعصر النووي. وتدين الكيمياء الإشعاعية في تطورها إلى تطبيقاتها في الأسلحة، لكن المواد التي نتجت عن ذلك قد ساهمت في جودة الحياة وشجعت العمل من أجل مستقبل واعد.

فبعد كل شيء مازال الأفضل لم يأت بعد.

20 ومازال الأفضل لم يأت بعد

- الكيمياء البيئية
- الاندماج على البارد
- الحفز الحيوي
- التوصيلة الفائقة غير العضوية
- هندسة الكيمياء الحيوية
- تفاعل البولمراز المتسلسل

وهكذا نختتم هذا التاريخ للكيمياء، وقد اخترنا منتصف القرن العشرين نهاية له، (يمتد النصف الثاني من القرن ليشمل تاريخ مؤلفي هذا الكتاب، ولا يُعنَى أي منهما أن يُعتبر تاريخا). ويتواصل تاريخ الكيمياء دون توقف، ولذا فإننا لم نستطع مقاومة أن نعرض لبعض أحداث آخر خمسين سنة، ونلقي نظرة خاطفة على أفق المستقبل.

كانت الخلفية العالمية للكيمياء تواصل التغير. وقد انتقل مركز النشاط الكيميائي من أفريقيا إلى الهند فآسيا ثم إلى العرب فأوروبا فأمريكا الشمالية (إذا كان يمكن القول بوجود مركز). ازداد انتشار الكيمياء وعدم تمركزها، ولذا فإنها توصف كمؤسسة عالمية. كما كانت هناك إنجازات أساسية كبرى أثّرت في مسار الكيمياء ـ الكمبيوتر والترانزستور والليزر ورحلات الفضاء ـ وقد فتحت كلها مساحات جديدة للدراسة. وقد عرفنا عن الكواكب ذات البحار المكونة من الهيدروكربونات وصخور الماء وثلج النشادر[1]، من المعلومات التي جلبها المسبار فويجر. ووجد علماء الطيف أدلة على وجود جزيئات في الفراغ «الخالي» بين النجوم، وقد ضمت هذه الجزيئات أول أكسيد الكربون

والفورمالدهيد والسيانو أسيتيلين وميثيل المركبتان، بل حتى الإيثانول ـ أكثر من مائة جزيء مختلف تم تعيينها حتى الآن[2]. وبدأ عصر الكيمياء الفلكية.

كان للكيمياء، هنا على الأرض، مشاكلها السياسية في أواخر القرن العشرين. لكنها كانت مع بداية القرن بمنزلة المنقذ أو المخلص للمجتمع، ثم تحولت في أذهان الكثيرين إلى شيء شيطاني حديث. وقد نما في المجتمعات الحديثة كره لفنون الكيمياء، أطلق عليه البعض اسم «فوبيا الكيمياء» ـ الهلع من الكيمياء ـ وكانوا محقين في ذلك جزئيا. وقد حدث في بعض الأحيان أن نزلت بضائع إلى السوق قبل أن تستكمل الأبحاث عليها وعلى آثارها. كان للعجلة بعض العذر أحيانا، كما كانت الحال في تطوير المخزون النووي قبل أن تدرس طرق التخزين والتخلص من النفايات المصاحبة لذلك. ويمثل المبيد الحشري دي دي تي (DDT) (ثنائي كلورو ثنائي فينيل ثلاثي كلوروإيثان) مثالا آخر على ذلك: فقد بيَّن الكيميائي بول ميللر أن هذا المركب مبيد حشري فعال مما جعله يحصل على جائزة نوبل استحقها على أبحاثه حول هذا المبيد والمركبات الشبيهة به العام 1948.

استُخدم DDT لإيقاف عدوى التيفوس في إيطاليا العام 1943، والذي كان يمكن أن يتسبب في هزيمة الحلفاء مثل الجيش الألماني تماما. وكان هذا المبيد فعالا بالدرجة نفسها في القضاء على البعوض الحامل للملاريا في الشرق الأقصى. رفعت هذه المبيدات الحشرية إنتاجية الطعام في العالم (هي والمخصبات الصناعية ـ الأسمدة ـ والبذور المهجنة والتقنية المتطورة في الزراعة)، وخفضت من الجوع مما أدى إلى ما أطلق عليه «الثورة الخضراء»[3]. غير أن DDT بدأ يظهر بتركيزات مرتفعة في الأسماك وأيقن الجميع أنه يتراكم في الأنظمة الحية. فعندما تتناول الطيور الحشرات المرشوشة بالـ DDT، كان هذا الأخير يتراكم في الطيور ويضعف من قشرة بيض بعض أنواعها. أخذت هذه الأنواع تختفي تديجيا، وفي الوقت نفسه بدأت أعداد الحشرات تزداد مرة ثانية. وقد عرضت عالمة البيولوجيا والمتخصصة في الشؤون الطبيعية هذه المشكلة على الرأي العام العالمي في كتابها «الربيع الصامت»[4]. وقد أصبح الـ DDT خارجا على القانون، ووضعت قيود صارمة على استخدامه وغيره من المبيدات

المثيلة في السبعينيات من القرن العشرين.

وهناك أحداث أخرى مثل: السائل الزيتي الأسود المحمل بالمواد المسرطنة والذي أسقطته على الأرض الأمطار الشديدة فى لوف كانال، حيث المجتمع يقوم على مخزن نفايات كيماوية سامة. أما الزئبق الذي ألقى به مصنع للكيماويات في مصب أحد الأنهار في ميناماتا في اليابان، فقد تسبب في شلل الآلاف وإصابتهم بدمار في المخ، كما مات المئات من السكان. وفى بهوبال في الهند، تسرب ميثيل أيزوسيانات العام 1984، فقتل ما يقرب من ألفين وجرح عشرات الآلاف من المواطنين، ولا يمكن أن يكون كل ذلك قد خفف من الصورة السلبية للكيمياء.

ثم جاء المطر الحمضي. يؤدي حرق الفحم والبترول في محطات القوى وكذلك درجات الحرارة المرتفعة في آلات الاحتراق الداخلي، إلى انبعاث أكاسيد الكبريت والنيتروجين، وهي الأكاسيد التي تكون حمض الكبريتيك وحمض النيتريك عندما تختلط بالهواء الرطب. ويتسبب المطر الحمضي في هلاك النباتات والأشجار بالإضافة إلى تآكل المباني والقطع الفنية الأثرية. وقد سُجل مطر في حمضية عصير الليمون. وهناك أيضا المشكلة العالمية، مشكلة ارتفاع درجة الحرارة في جميع أنحاء العالم، ولو أنها لم تتأكد نهائيا بعد، والتي تتسبب فيها الغازات المتصاعدة إلى الغلاف الجوي من تأثير النشاط الإنساني والحيواني، وبالتحديد غاز ثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان، وهي تعكس الإشعاعات التي تهرب من الأرض لتعود ثانية على شكل حرارة ـ وتسمى هذه الظاهرة أحيانا باسم «تأثير الصوبة الزجاجية».

ترى هل الابتكارات الكيميائية هي المسؤولة عن هذه الحالات؟ أم أن طريقة استعمالها ـ أو سوء استعمالها بالأحرى هو المسؤول؟ يقولون إن الحاجة أم الاختراع، لكن فيما يبدو، فإن الاختراع أبو الاحتياج. فبمجرد إدخال أحد الاختراعات فى حياتنا يصبح ضرورة»: فلا أحد يرغب في التخلي عن التحسينات التى طرأت على حياتنا، وقد تتسبب زيادة الطلب على أحد المنتجات في تشجيع عدم المسؤولية في الإنتاج. وقد وضعت لوائح وأنظمة للكثير من المواد والعمليات، لكنها كانت تقابل باعتراضات إذا أدت إلى تخفيض العمالة أو الخدمات أو الإنتاج. وقد أصبح من الثابت أنه من الأسهل تعديل التكنولوجيا عن تعديل البشر، والبندول يتأرجح إلى

الخلف الآن وإذا استعرنا عبارة من الجمعية الكيميائية الأمريكية، فإن الكيميائيين هم الذين سوف يجدون الحل.

الكيمياء البيئية

تعتبر دراسة الكيمياء البيئية شيئا معقدا لأنها تتضمن أنظمة بيئية ذات متغيرات كثيرة، لكن ليست هذه هي المرة الأولى التي يتعامل فيها الكيميائيون مع الأنظمة المعقدة. فقد اكتشفت تقنيات خلاقة للتعامل مع النفايات، بما في ذلك المعالجة البيولوجية ـ أي استخدام الكائنات الدقيقة (الحشرات بلغة المعالجة البيولوجية) لهضم النفايات... فبعض صور الحشرات تأكل بالتحديد المتفجرات التي تستخدم في قنبلة البلوتونيوم، بينما يتناول البعض الآخر مادة TNT والنيتروجليسرين، وهي تقوم بذلك بحذر شديد.

وقد شهد التعامل مع النفايات النووية (سواء من محطات القوى أو من الأسلحة النووية تقنيات خلاقة، متضمنة إعادة تدوير الوقود النووي والتزجيج (الدفن في الزجاج) والتخزين تحت الأرض. وتقوم فكرة إعادة تدوير الوقود النووي على حقيقة أن البلوتونيوم ـ 239ينتج عن قذف اليورانيوم ـ 238 بالنيوترونات. ويمكن استرجاع البلوتونيوم ـ 239 مع اليورانيوم ـ 235 من سيقان الوقود المستهلك، فتجمع ليصنع منها المزيد من عناصر الوقود. ويمكن فصل اليورانيوم ـ 238 وخلطه مع الوقود الجديد وتحويله إلى البلوتونيوم ـ 239. ويسمى المفاعل الذي ينتج من الوقود أكثر مما يستهلك « المفاعل المتوالد». وتستخدم هذه التقنية في بلاد عدة، مع ملاحظة أن الولايات المتحدة ليست منها. وفي تقنية التزجيج توضع نفايات الانشطار في زجاج مصهور، ويتجمد الزجاج على شكل سيقان خاملة جدا من الناحية الكيميائية وتناسب التخزين لفترات طويلة. وقد وضعت الخطط لتخزين الوقود المستهلك غير القابل للاسترجاع وسيقان الزجاج المحتوية على النفايات النووية في سراديب تحت الأرض. ومع أن العمل كان قد تقدم حثيثا في بناء هذه السراديب، إلا أن دواعي الأمن وتأمين البيئة قد استدعيا غلقها. وللحقيقة فإنه لم يعلن عن إمكان استقبال النفايات النووية بواسطة السراديب حتى اليوم[6].

ويعتبر تقليل النفايات إلى الحد الأدنى أحد الحلول المطروحة لمشكلة النفايات والتي يساهم الكيميائيون فيها. وتتضمن إحدى الطرق الحديثة استخدام ثاني أكسيد الكربون في الحالة فوق الحرجة كمذيب في التفاعلات الكيميائية أو كمنظف ليحل محل المذيبات العضوية الضارة بالبيئة. ويمكن الحصول على ثاني أكسيد الكربون فوق الحرج في درجات الحرارة المرتفعة لدرجة أنه من المفروض أن يكون على شكل غاز، لكن تحت ضغط مرتفع يحتفظ له بخواص تشبه خواص السوائل. وهو مذيب جيد يمكن إعادة تدويره أو تبديده في الوسط المحيط كغاز غير سام. ويمكن تجميد ثاني أكسيد الكربون على شكل أقراص لتستخدم كعامل ناسف. ولاتترك هذه الطريقة نفايات ماعدا المادة التي فجرها ثانى أكسيد الكربون الذي يتحول بسرعة من جامد إلى غاز دون أن يترك شيئا. وحيث إن ثاني أكسيد الكربون من الغازات المسببة لظاهرة الصوبة الزجاجية (الاحتباس الحراري)، وهو ينبعث من صناعات عدة كناتج ثانوي، فإن جمعه وإعادة استخدامه يعطلان من تراكمه في الهواء الجوي. إلا أن تدويره لا يمكن أن يتم بكفاءة 100٪، فكل خطوة تحتاج إلى طاقة، وهكذا لا يقدم الغذاء مجانا أبدا.

ويرتبط التقدم في الكيمياء البيئية بشكل قوي بالتطور في المجالات الأخرى مثل الكيمياء التحليلة. وكلما وجد أن مركبا ما سام بتركيزات تتناقص باستمرار، أصبح اكتشاف هذه المادة بتركيزاتها المتناقصة أمرا مهما (مع أن البعض يجادل بأن إمكان الكشف عن التركيزات الأصغر هي التي تدفع المستوى القانوني المسموح به لهذه المواد إلى تركيزات أصغر). وقد تطورت حدود الاكتشاف في الكيمياء التحليلية لبعض الملوثات من جزء في المليون إلى جزء في البليون، وحتى إلى جزء في التريليون.

وتتضمن تقنية التحليل الميكروي (الدقيق) بعض أشكال استخدام الميكروسكوب ـ استخدام الميكروسكوب الإلكتروني والميكروسكوب الماسح النافذ ـ والتي لها القدرة على تكوين صورة على مستوى الذرات. وكذلك الأقطاب الميكرونية (الدقيقة) التي تعمل كرؤوس حساسة أو تنشط تفاعلا كيميائيا على المستوى الميكروسكوبي. وقد أثبتت الأقطاب الميكروية الدقيقة، وغيرها من الأمور المتقدمة في الكيمياء الكهربية، أنها منطقة حيوية وصالحة ولامفر منها. لكن لسوء الحظ، تلقت الكيمياء الكهربائية، في أواخر النصف

الثاني من القرن العشرين بعضاً من السمعة السيئة في: الاندماج على البارد. وقد يجادل البعض لحذف هذا المشهد من تاريخ الكيمياء، لأنه لا كيمياء هناك سوى التفاعل بين الطموح والعلم السيئ. لكن البعض الآخر يجادل لإبقاء مثل هذه المشاهد في تاريخ الكيمياء، لأنها بمنزلة النذير. وهي تعمل على تذكيرنا بأن النظرية الكيميائية السليمة لابد أن ترتكز على نتائج قابلة للتحقق منها تم الحصول عليها بطرق علمية موثوق بها: إنها دروس لافوازييه.

الاندماج على البارد: دروس لافوازييه المفقودة

جاءت الأخبار العام 1989 كالصدمة في عالم متعطش للحصول على نتائج جيدة. كانت صورة محطات توليد القوى التي تعمل بحرق البترول صورة مظلمة ومهلكة، وكان تفاعل الاندماج ـ المصدر المحتمل لطاقة ـ يبدو بعيدا بُعْد النجوم التي كانت هي المولدات الوحيدة في الأفق التي تعمل بالاندماج. ثم جاء ستانلي بونز ومارتن فليتشمان، المتخصصان في الكيمياء الكهربائية من جامعة يوتا، ليعلنا أنهما قد حققا تفاعل اندماج في كأس بالمعمل وباستخدام كيماويات عادية وتيار كهربي متوسط. ويستدعي الأمر تفجيرا ذريا ليقدح تفاعل الاندماج في القنبلة الهيدروجينية، ولذلك فإن العالم شعر بالغبطة عندما سمع بإمكان حدوث الاندماج بواسطة مصدر للطاقة يمكن توصيله بأي مصدر للكهرباء: وقد كانت درجة السرور والغبطة مرتفعة لدرجة أن القليلين فقط تنبهوا إلي أن الإعلان عن هذا الاكتشاف قد جاء في مؤتمر صحافي وليس عن الطريق المقبول بواسطة التحكيم العلمي للنشر، وكانت درجة السرور والغبطة عظيمة لدرجة أن الباحثين في جميع أنحاء العالم تركوا كل ما في أيديهم واندفعوا في محاولات لتكرار النتائج المعلنة. فالتجربة كانت سهلة. كان بونز وفليتشمان قد أعلنا أنهما مررا تيارا كهربيا في خلية مزودة بقطبين من البالاديوم ومن البلاتين وبها ماء ثقيل (يحتوي على الديوتيريوم). فنتجت عن ذلك ـ تبعا لقولهما ـ حرارة زائدة وأشعة جاما[7].

كان فليتشمان كهرو كيميائيا من أصل تشيكوسلوفاكي، وصل إلى إنجلترا طفلا عندما فرت أسرته من الاحتلال النازي. وبحلول العام 1989 كانت

سمعته طيبة، وانتخب عضوا في الجمعية الملكية. قابل بونز ـ فليتشمان عندما التحق بمجموعته البحثية لاستكمال دراسته العليا. ويروى عن بونز ـ وهو أصلا من جنوب الولايات المتحدة ـ أنه إنسان ظريف وكريم ولغته مستفيضة وهادئ الطباع. انقطع عن الدراسة والتاريخ العلمي الذاتي لمدة عشر سنوات ليعمل في ميدان عمل الأسرة، لكنه عندما حصل على درجة الدكتوراه بدأ نجمه يصعد. حصل على وظيفة في جامعة يوتا وأخذ ينشر بمعدل هائل أبحاثه العلمية. استمر هو وفليتشمان في التعاون العلمي وأخيرا توصلا إلى محاولة تحقيق فكرة كانت قد طرأت لفيتشمان في السبعينيات، لكنه لم يحاول تجربتها ولم يعرض على أحد من قبل أن يجربها ـ فكرة الاندماج على البارد.

قام بونز وفليتشمان بتمويل التجارب الأولية بأنفسهما معتقدين أن الفكرة خارقة حتى ليصعب أن يجدا لها تمويلا من أحد. أعدا الخلية، وبدآ التحليل الكهربي لعدة أشهر كان فيها جوى بونز ـ الابن الأصغر لستانلي بونز ـ هو الذي يراقبها فقط. وذات ليلة، بينما لم يكن أحد بجوارها، حدث انصهار. لقد حدث شيء ما لأن الشهود قالوا فيما بعد أن الطاولة قد أصابها بعض التحطيم في المكان الذي كانت الخلية موجودة فيه، لكن تفسير هذا التحطيم كان هو محل السؤال في النهاية. ونظرا لخوفهما من أن يسبقهما أحد الباحثين، وهو ستيفن جونز من جامعة بريجهام (فى مركز يوتا كذلك)، أقنع بونز وفليتشمان جامعة يوتا أن توظف ضباط أمن لحراسة المعمل، وقاما بتغطية النوافذ في أبواب المعمل بأوراق سوداء. وعقدا مؤتمرا صحافيا جاء في بيانه:

قام عالمان بإجراء تفاعل اندماج نووي ذاتي الدعم بنجاح في درجة حرارة الغرفة وفي أحد معامل الكيمياء في جامعة يوتا. ويعني هذا التقدم الفجائي أن العالم قد يتمكن في يوم ما من الاعتماد على الاندماج من أجل طاقة نظيفة من مصدر لا ينضب عمليا[8].

لكن التفاصيل كانت بطيئة. كان بونز يحذر الناس من محاولة إجراء التفاعل لاحتمال حدوث انفجار، وعندما سُئل كيف يمكن تجنب الانفجار، أجاب: «بتجنب التيار المرتفع والحواف الحادة»[9] (نصيحه جيدة بالتأكيد للحياة عموما). وعلى الرغم من نشر ما يؤكد ذلك بواسطة بعض المجموعات

إلا أن الأمر كله أخذ يتراجع وينكمش. شاهدت بعض المجموعات ارتفاعات في درجة الحرارة، لكنها لم تحصل على أي دليل آخر لحدوث شيء نووي، فهي لم تسجل أي نيوترونات منبعثة من الخلية.

فسر بونز عدم وجود نيوترونات بأن الاندماج على البارد « تفاعل نووي غير تقليدي»[15]. ثم أشار بعضهم إلى أن بيانات أشعة جاما من تجارب بونز وفليتشمان لا تتمتع بالصفات المميزة التي يجب أن تكون عليها، وأن هذه البيانات تشبه نتائج تجارب مفتعلة وليست حقيقة. كان الانصهار والحرارة موجودين، لكن حتى هاتان الظاهرتان كان تفسيرهما يتغير دوريا. كان البالاديوم، الحافز لتفاعل الهيدروجين مع الأكسجين، يتوهج بسهولة حتى الاحمرار ـ أثناء العملية ـ وفي خلية تحليل تحتوي على الماء يمكن أن يوجد الأكسجين والهيدروجين أيضا (كما أوضح نيكلسون وكارليزلي في بداية القرن التاسع عشر). كما ذكرت مقالة علمية العام 1958 أن المحاليل المائية في خلية من أقطاب البالاديوم والبلاتين تتكون بها بقع ساخنة في حالة عدم تحريك المحلول. ولم يحرك بونز وفليتشمان المحلول في خليتهما.

ضعفت الآمال وخفت الحماس وعاد الباحثون ثانية لمشاكلهم السابقة. غير أن بونز وفيلتشمان ـ للتاريخ ـ لم يتخليا عن ادعائهما. ويعيش بونز الآن في نيس بفرنسا يجري أبحاثا لحساب شركة يابانية، وهي أبحاث غير معلنة لكنها تحظى بدعم مالي قوي. ويقول بونز إن فليتشمان سيلحق به حالا.

قدمت الكيمياء الكهربية أكثر من مجرد الاندماج على البارد فقد طورت مراكم كهربية للسيارات الكهربية وخلايا شمسية. وقدمت مسارات جديدة للتخليق العضوي وغير العضوي. فالكيمياء العضوية التخليقية لم تتحول بعد إلى كتاب طهو روتيني، فبعد كل هذه السنوات التي كرسها الكيميائيون لها، واحتمالاتها الهائلة، مازال هناك الكثير الذي يجب تعلمه من إمكانات التخليق.

الحفز الحيوي

كانت أعظم كلمة في الكيمياء العضوية في أواخر القرن العشرين هي «الحفز الحيوي»: استخدام الكائنات الدقيقة لصنع الكيماويات. ومع أن

هذه التقنية ليست جديدة ـ فقد استخدمت الخميرة لصنع الإيثانول قبل أن تخترع الكتابة، واستخدم حاييم وايزمان التخمر لينتج الأسيتون في بريطانيا في الحرب العالمية الأولى ـ والآن يمكن التحكم في الإنزيمات، بل وهندستها ـ أي حشرات مبرمجة إذا شئت أن تسميها كذلك. وقد اتضح أن بعض الجزيئات الحيوية تستطيع في بعض الأحيان أن تعمل في كتلة حية لتنتج مركبات ذات قيمة صناعية، مع منتجات ثانوية صديقة للبيئة، على عكس الطرق التقليدية. وبعبارة أخرى، ربما تستخدم صناعات المستقبل الحشرات والحبوب بدلا من الحوافز الفلزية والبترول[11]. غير أن التأثير الشامل لهذه الطرق الجديدة لابد أن يخضع للتقويم النقدي ـ فما زالت آلات حصاد الحبوب تعمل بالجازولين.

ومسارات التخليق في الكيمياء غير العضوية أيضا، حيث لا تقل الوفرة الممكنة عن الحال في الكيمياء العضوية. كانت الكيمياء غير العضوية في الماضي تتكون من صهر المتفاعلات معا ثم تبريدها تحت ظروف مختلفة للحصول على المادة المأمولة (كانت الطريقة تسمى «هز و اخبز» في الكيمياء)». ويحل محل هذه الطريقة طريقة أخرى في درجات حرارة أقل وبخطط أكثر تحكما[12]. ويعد مثل هذا التخليق المحكوم مهما في إنتاج المناخل الجزيئية وبعض المواد السيراميكية التي تملك خاصة غير متوقعة: التوصيل الفائق.

التوصيلية الفائقة غير العضوية

في بداية القرن العشرين تم اكتشاف الظاهرة: إذا برد الزئبق إلى أربع درجات كلفن (4 درجات فوق الصفر المطلق) فإنه يصبح موصلا فائقا؛ أي أن الزئبق الصلب له مقاومة = صفر لسريان الإلكترونات. قد يبدو ذلك في البداية مثل المحرك السرمدي الذي يستحيل وجوده من قوانين الديناميكا الحرارية، لكن مفتاح اللغز هو أن الإلكترونات لا تعمل. فالقانون المثالي للديناميكا الحرارية لا يقول شيئا عن الحركة السرمدية ولا يمنعها مادامت في آلة لا تعمل. تتنافر الموصلات الفائقة مع المجال المغناطيسي حتى أن المغناطيس إذا وضع فوقها سيظل معلقا كما لو كان يتحدى الجاذبية، هذا بالإضافة إلى إمكان نقل التيار إلى مسافات طويلة دون فقد حراري. وقد

تستخدم خاصية التنافر مع المجال المغناطيسي يوما ما لترفع القطارات فوق القضبان التي تتحرك فوقها. ويقل فقد الطاقة في الاحتكاك إلى حد أدنى عندما يختفي النحاس بين القطار والقضبان، وبذلك تستهلك قطارات «الرفع المغناطيسي» طاقة أقل من القطارات التقليدية. وقد تم بالفعل عرض النماذج الأولية لمثل هذا القطار.

وتستخدم بالفعل الموصلات الفائقة في تخليق مجالات مغناطيسية قوية للاستخدام في الأجهزة. غير أن الموصلات الفائقة التقليدية، وهي كل الفلزات، تحتاج إلى تبريد إلى درجات منخفضة جدا قبل أن تصبح موصلات فائقة. ويستخدم الهيليوم السائل لتبريدها، غير أنه مكلف ويغلي ويتبخر بسرعة. وقد اكتشفت بعض أنواع السيراميك في بداية الثمانينيات التي يصبح لها خواص التوصيل الفائق في درجات حرارة 35 كلفن، أي 35 درجة فوق الصفر المطلق. وبذلك أصبحت درجة الحرارة المستهدفة للحصول على ظاهرة التوصيل الفائق هي 77 كلفن، لأنه يمكن استخدام النيتروجين السائل عند هذه الدرجة لتبريد الموصلات الفائقة. وغاز النيتروجين (وهو المكون الرئيسي للهواء) أرخص من أي مشروب غازي يمكن شراؤه. كسر بول تشو الحاجز بسيراميك له الصيغة جزء واحد من الإيتريوم إلى جزأين من الباريوم في نسيج من كميات مختلفة من أكسيد النحاس. وتعد هذه المادة مثالا للبرثوليدات، وهي المواد التي تحتوي على نسب أعداد ليست صحيحة للعناصر. وقد سميت على اسم بيرثوليت، الكيميائي من القرن التاسع عشر، الذي كان يصر على أن المركبات يمكن أن يتغير تركيبها بصورة مستمرة. وعندما نشر تشو هذه النتائج جاء عنصر الإيتيربيوم بشكل ما محل الإيتريوم، كما أن النسب كانت غير صحيحة (مضبوطة). ومع أننا لا يمكن أبدا أن نظن أن هذه الأخطاء كانت متعمدة (ألقى تشو باللوم على سكرتيرته في هذين الخطأين)، إلا أن ما حدث قد منح الأسبقية لتشو ومنحه الوقت الكافي وحده للعمل على الصيغة الحقيقية[13].

وما زال تشكيل السيراميك على شكل سلك لينقل التيار أمرا غاية في الصعوبة، إلا أن بعض التقدم قد أُحرز في هذا الاتجاه. ويسمى أحد الأجهزة المصنوعة من مادة موصلة فائقة «جهاز التداخل الكمي فائق التوصيل (SQUID)»[14]. وهو جهاز غاية في الحساسية للمجال المغناطيسي

ويمكن أن يستخدم يوما ما في سبر نشاط القلب والمخ في الجسم بطريقة كهرومغناطيسية دون تدخل جراحي. وقد صُنِّع موصل فائق حديثا يدعي صانعوه أنه يعمل في درجة حرارة 153 كلفن - أي في المدى الذي تستخدم فيه المبردات في أجهزة التكييف والثلاجات[15].

والجزء العظيم الآخر من أخبار الكيميائيين غير العضويين في نهاية القرن العشرين اتضح أنه خبر عظيم للكيميائيين العضويين والفيزيائيين والتحليليين والحيويين أيضا. كان هذا هو اكتشاف صورة ثالثة صلبة للكربون - والصورتان الأخريان هما الماس والكربون. وتكون الصورة الثالثة على شكل كرة مثل قبة مخططة بخطوط جيوديسية (خطوط تربط النقاط بعضها ببعض) تم تصميمها بواسطة الفيلسوف والمهندس بوكمينستر فوللر، ولذا سميت عن حق بوكمينستر فوللرين.

بوكمينستر فوللرين

جاءت التسمية بوكمنستر فوللرين وفقا لتقليد في الكيمياء العضوية، وهو مجال يحيد فيه أحيانا عدد ونوع المركبات عن التسمية المنهجية. وبدلا من ربط قائمة من البدايات والنهايات معا، يكون أحيانا من الأنسب إعطاء اسم جديد غير منهجي للموكب، ثم يبدأ من هذا الاسم تسمية مشتقاته. ولذلك نجد في المراجع اسم سوكيرين (الذي له شكل كرة القدم «سوكر») وباسكيتين (الذي له شكل السلة «باسكت»). وقد وجد الباحث راسل ماركر، المتخصص في الإستيرويدات، والمشهور بموانع الحمل، عددا كبيرا من المركبات في البطاطا الحلوة أطلق عليها بينّوجينين على اسم كلية ولاية بنسلفانيا، واسم روكوجينين على اسم التدليل لأحد الكيميائيين في ولاية بنسلفانيا - روكي. وقد أطلق البعض مازحين إشاعة: هناك أيضا ماركوجينين[16].

يمتلك البوكمينسترفوللرين 60 ذرة كربون مرتبطة على شكل كرة، وقد أطلق عليها اسم التدليل بوكي بول «كرة بوكي»، وسميت الكرات التي اكتشفت وبها أعداد أقل 32 أو 44 باسم بوكي بيبي أو «أطفال بوكي»، أما الكرات الأكبر فقد اكتشف منها ما تحتوي على 960 كربونا كحد أقصى في جزيء واحد كروي، وكذلك اكتشفت أنابيب بوكي - أو بوكي تيوب - وهي أسطوانات

من الكربون قاسية على المستوى الذري. ومع أن تطبيقات هذه الاكتشافات مازالت قليلة، إلا أنها أظهرت خواص جديدة. فهي تستطيع اصطياد الذرات والجزيئات المتراكبة في تجاويفها الكروية. ويمكن تصورها كوسيلة لنقل المواد عبر الأغشية أو طريقة لتقطيع المركبات انتقائيا. ويمكن أن يقوم التجويف بحماية المواد الحساسة للماء، وقد وجد أن بعض الذرات يمكن أن ترتبط بالتجويف من الخارج. وفي بداية التسعينيات اتضح أن مركبات بوكي بول مع البوتاسيوم أو الروبيديوم موصلات فائقة[17].

وتعد دراسة وتفسير خواص هذه المواد تداخلا مع اهتمامات الكيميائيين الفيزيائيين كذلك. وقد اكتشف إمكانات حفزية في هذه المواد، الأمر الذي يبهج علماء الكيناتيكا (الكيميائي الذي يدرس معدلات التفاعلات). وبحلول أواخر القرن العشرين كانت هناك وفرة من الأمور التي استحوذت على اهتمام دارس الكيناتيكا: تسمح أشعة الليزر بدراسة كيناتيكا العمليات التي تحدث في كوادريليون من الثانية ـ الفيمتوثانية، وكيمياء الفيمتو التي استخدمت لاختبار الحالة الانتقالية الخادعة والتفاعلات السريعة بين الجزيئات[18]. وقد انطلق مجال الكيمياء الحيوية في نهاية القرن العشرين مدعوما بكل التقدم الذي أُحرِز في التقنيات والأجهزة، وحصل على عدد قليل من جوائز نوبل. وتضم قائمة الإنجازات تطوير طرق إعادة اتحاد شظايا المادة الجينية (الوارثية) من أجناس مختلفة: دنا المجمَّع.

هندسة الكيمياء الحيوية

يطلق اسم الهندسة الوراثية على استخدام الدنا المجمَّع (المجمع من أجناس مختلفة)، وقد قامت مؤسسة جيننتك ببرمجة بكتريا لتنتج الأنسولين البشري وذلك بإقحام جين الأنسولين في دنا البكتريا. وبالطريقة نفسها أصبح من الممكن إنتاج هرمون النمو البشري. وقد أثارت هذه الأبحاث قضايا أمن وقضايا أخلاقية في مجتمع العلماء وعامة الناس، غير أن الباحثين قد قطعوا مشوارا طويلا في اتجاه التنظيم الذاتى[19]. وربما تستخدم تقنية دنا المجمع فى المستقبل لمعالجة الأمراض الوراثية. وقد تطورت طرق تصميم الأدوية التى بدأها بول أيرليش، وتضم الآن طرق تصميم أدوية على أساس بنائي. وفي هذه العملية يتم تحديد البنية الفراغية

(ثلاثية الأبعاد) للإنزيم الهدف أو الفيروس أو أي كيان آخر مسبب للمرض، ثم يصمم الدواء بحيث يلتصق بهذه البنية الفراغية ويتدخل في نشاطها[20]. والأمل معقود على هذه الأبحاث في أن تطور علاجا لأمراض كثيرة، بما في ذلك السرطان والصدفية والجلوكوما، بل وحتى نوبات البرد العادية.

كانت الكثرة من المجهودات الناجحة التي قمنا بوضعها نتيجة للجهود التي بذلتها معامل كبرى جيدة التمويل، ومجموعات من الباحثين (ضمت إحدى المقالات العلمية الحديثة 22 مؤلفا لها)[21] الذين يطرحون السؤال: هل ولى زمن دالتون؟ ألا يوجد مكان لخارج على السياق عنده فكرة جيدة؟ وتقدم لنا قصة تفاعل البولمراز المتسلسل الإجابة عن ذلك.

تفاعل البولمراز المتسلسل

بحلول العام 1983، اكتُشِفت طريقة استنساخ عدد لانهائي عمليا من الدنا، ومن قطعة واحدة من المادة في فترة قصيرة - مائة مليون نسخة في فترة ما بعد الظهر. ولا يتطلب الأمر سوى معمل كيمياء حيوية نمطي وأجهزة وكيماويات. وتقول كلمات كاري موليِّس الحائز - بالمشاركة - جائزة نوبل 1993: «يمكن الحصول على الدنا من نقطة دم مجفف، أو من أنسجة مخ محنط، أو من ماموث مغطى بالصدف ومتجمد في مجرى أحد الأنهار الجليدية منذ أربعين ألف سنة»[22].

ويلعب إنزيم دنا بولمراز دورا فى تناسخ (تكاثر) الدنا، وكان موليس يستخدمه في تعيين مخطط الترتيب (طريقة استنتاج تتابع الجين في جزيء الدنا). كان يفكر في تسخين الدنا ليفصل بين الضفيرتين ويباعد بينهما، ثم يضيف المطعِّم (جين صغير له تتابع خاص يرتبط بالقواعد المكملة له) ثم بعد ذلك يستخدم دنا بولمراز ليزود الضفائر بكبسولات من النظائر لتضاف إلى المطعم. وسيجري انتقاء في المحلول للكبسولات التي ستضاف إلى المطعم، وستقوم الكبسولة المختارة - والتي ستحددها بصمة النظير - بتزويدنا بمعلومات عن كيفية تتابع (ترتيب) الدنا الأصلي. وبكلمات موليس نفسه:

كنت أقود السيارة في أمسية يوم جمعة في وقت متأخر من الربيع في طريقي إلى ميندوكينو كونتي ومعي صديقة كيميائية. وكانت نائمة، ولم يكن هناك اشتراط لتطبيق القانون 101 ... وكان الهواء فى تلك الليلة مشبعا بالرطوبة ورائحة زهرة قسطل الفرس. كانت سيقان متهورة بيضاء

تبرز من جانب الطريق لتقطع أشعة ضوء السيارة المتوهج...

كانت تلح علي بعض الأسئلة... ماذا لو أن [التفاعل] امتد ليخلق تتابعا [يستمر حتى نهاية شذرة الدنا]؟ سيتسبب ذلك في صعاب بالتأكيد...

وبعد برهة ليست بعيدة، صدمتني فكرة تصورتها: لابد أن يكون تتابع جدائل الدنا في الهدف وفي [القطع] الممتدة واحدا... أي سيقوم التفاعل بمضاعفة أعداد «دنا» الهدف في العينة.

وفجأة بدأت رائحة قسطل الفرس المزهر تختفي بسرعة.

وفي الصباح كانت ترهقني فكرة أن أحدا ما، بشكل أو بآخر، لم يجرب هذه الفكرة حتى الآن[23].

وقد اتضح أنه لم تخطر هذه الفكرة لأحد من قبل.

ويعمل موليس خارج الوطن الآن مستشارا، ويدير إقطاعية كبيرة ولا يشكك أحد في قيمة مساهماته، لكن هناك البعض الذين يجادلون فى أحقية أبحاثه بجائزة نوبل. والإجابة على ذلك: «أوه، طبعا؟ إذن كيف حدث أن لم تواتكم هذه الفكرة؟»[24].

وينسب لتفاعل البولمراز المتسلسل إمكان إيجاد وتطوير مجال جديد بالكامل من الدراسات، دراسة دنا من عصر عتيق. وقد أفادت هذه الدراسة المطعمة بعلم جزيئات الحياة القديمة في الفيلم السينمائي «الحديقة الجوراسية». وفي هذا الفيلم تعالَج وتُستَنسَخ وتُصنع ديناصورات من الدنا المأخوذ من دم ديناصور في بعوضة محفوظة فى الكهرمان. ومع أن الفكرة كانت وهمية في البداية، إلا أنه عندما بدأ عرض الفيلم، كانت قد استنسخت نسخ من دنا نحلة عاشت منذ 40 مليون سنة ونملة عاشت منذ 25 مليون سنة محفوظتين فى الكهرمان[25].

منحت جائزة نوبل 1989 فى الكيمياء لكل من توماس سيتشي وسيدني ألتمان لأنهما اكتشفا ـ كل على حدة ـ أن جزيئات الإنزيمات ليست بالضرورة من البروتينات. كان الإنزيم غير البروتيني الذي وجداه هو رنا (RNA). ويتردد واحد من الأسئلة الكثيرة عن أصل الحياة، ويعاد طرحه مرات عديدة، وهو: كيف التقى أول دنا مع أول رنا؟ فالاثنان ضروريان للتكاثر الذاتي. ويبين أحد التفاعلات المحفزة ذاتيا بواسطة رنا RNA أنه يمكن أن يكون قد حدث مرة أن عاشت آلة مكونة من جزيء واحد بذاتها دون معونة خارجية.

وتبين التفاسير والمجادلات العامة التي تدور حول هذه النتائج باستخدام

مصطلحات أصل الحياة، أن هذا السؤال مازال يشغل عقول الباحثين. وتثار الآن أسئلة حول حساء ميللر البدائي وتركيبه، وقد اكتشفت فى الفضاء الخارجى جزيئات عضوية شبيهة بالشحوم وأحماض أمينية وقواعد للأحماض النووية، وذلك في النيازك والشهب، الأمر الذي يعني أن لبنات بناء الحياة موجودة هناك في مكان ما خارج الأرض[26].

ومع كل ما أنجزه الكيميائيون من أبحاث أخاذة، إلا أنه مازال هناك المزيد من الأبحاث الطريفة التي تستحق الاهتمام بها ـ بدءا من معرفة الكيفية التي عاشت بها البكتريا آكلة الكبريت دون ضوء[27]، وحتى معرفة الكيفية التي يمكن بها إلغاء الأسلحة والرؤوس الحربية الكيميائية والتخلص منها[28]. ويقدم أحد الإصدارات الحديثة «حساب الأبحاث الكيميائية» ما يسميه بقائمة «الكأس المقدسة في الكيمياء»[29] ـ أهداف الأبحاث الكيميائية، والتي تحققت جزئياً على الأقل الآن، والتي لها مستقبل واعد ـ وهي تتضمن عزل الذرات والجزيئات المفردة والتعامل معها، وكيمياء الأربطة المنتقاة (صنع وكسر أربطة منتقاة) والموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة، وتحليل الماء إلى هيدروجين وأكسجين بواسطة الطاقة الشمسية لاستخدامهما في خلايا الوقود. وهناك بالقطع ما يكفي جميع القادمين إلى ميدان الكيمياء ويشغلهم تماما. ومن يدري ما الذي يخبئه المستقبل؟ ففي نهاية الأمر ثبت أن قذف الزئبق ـ 201 بواسطة الإلكترونات جعله يخضع لعملية تسمى اقتناص الإلكترونات، والتي في أثنائها تحول العنصر ذو الثمانين بروتونا إلى آخر ذي تسعة وسبعين فقط، وهو الذهب. كان ذلك سيبهج السيميائيين.

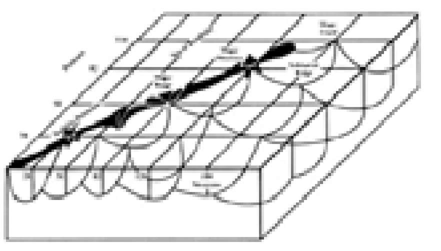
لكن، هل غُطِّيَتْ كل الأساسيات الآن؟ وهل الكيمياء الآن هي مجرد إعادة ارتباط العناصر القديمة نفسها في مواد جديدة، لتخدم البيولوجيا والطب والبيئة والصناعة؟ لنقرأ الآتي.

العناصر فوق الثقيلة

قد يكون من الأفضل تسمية الجدول الدوري باسم القائمة الدورية، لأن القائمة لا تتوقف. العناصر التي تأتي مباشرة بعد الفيرميوم (العدد الذري 100) غير مستقرة حتى أنها تُخلَّق ذرة ذرة وتُدرس كيمياؤها في زمن قدره

مللي ثانية (0,001 من الثانية) ـ إذا أمكن أصلا دراستها. ولا تصدق هذه الحقيقة على العناصر ذات الكتل الذرية الأعلى. وهناك أعداد معينة من البروتونات ومن النيوترونات يؤدي تزاوجها إلى درجة خاصة من الاستقرار، فمثلا يعتبر اليورانيوم ـ235 مادة انشطار فعالة ومادة للسلاح النووي، أما النظير الأكثر استقرارا، اليورانيوم ـ 238 فهو لا ينشطر ولا يستخدم في القنابل. وتسمى الأعداد من البروتونات والنيوترونات التي يبدو أنها تعطي الأنوية درجة استقرار خاصة باسم «الأعداد السحرية». وقد تم تطوير نظرية الغلاف (نظرية المحارة أو الصدفة) للنواة والتي تفسر هذه الأعداد السحرية بواسطة الفيزيائية ماريا جيرترود جيوبرت ماير (والتي يُروى عنها أنها كانت تستغرق في حساباتها لدرجة أنها كانت مرة تحاول استخدام السجائر بدلا من الطباشير).

وبدءا من الستينيات أخذ العلماء يستخدمون هذا النموذج للغلاف (للنواة) للتنبؤ بدرجة استقرار العناصر الموجودة خارج العناصر المعروفة في الجدول الدوري. وقد أشارت حساباتهم فيما يبدو إلى أن العناصر الأثقل من الرصاص تتناقص درجة استقرارها (وفي الحقيقة فكل شيء بعد البزموت مشع بجميع نظائره)، لكن العنصر ذا العدد الذري 114 والذي به 184 نيوترونا ـ أحد العناصر المسماة فوق الثقيلة ـ قد تكون له درجة ثبات خاصة[30]. وتشبه أشكال استقرار الأنوية الخرائط الطبوغرافية بسبب هيئتها الفراغية (ثلاثية الأبعاد) ـ (ترصد أعداد البروتونات مع أعداد النيوترونات مع درجة ثبات النواة)! وتصبح منطقة درجة الاستقرار المرتفعة معروفة باسم «الجزيرة السحرية»، وتوجد خصائص أخرى لهذا الشكل مثل «شبه الجزيرة السحرية»، والسلسلة السحرية» و«والجبل السحري». (راجع الشكل 1 :20).



الشكل (1 : 20) مناطق الثبات المتوقعة للعناصر فوق الثقيلة.

وقد تنبأت الحسابات باستقرار نواة موجودة على جزيرة سحرية، لمدة 100 مليون سنة، ولأن هذا الرقم يقع في حدود عمر الأرض (حوالى 4 بلايين من السنين)، فإن العلماء قد أخذوا يخمنون وجود هذه النظائر على الأرض. تضمنت الجهود المبذولة في هذا الشأن دراسة التركيب الكيميائي للشهب التي تحتوي على نسبة توزيع غريبة لنظائر الزينون (التي يمكن أن يكون السبب فيها انشطار الأنوية فوق الثقيلة) والتي بها هالات غريبة (آثار في تركيبة المعادن سببها هجرة نواتج الانشطار بعيدا عن الأنوية المشعة)، والسلوك الغريب لنشاط أشعة الغاز، أو آثار على الألواح الفوتوغرافية المحجوبة بعناية عن الأشعة الكونية والمصادر الطبيعية الأخرى للإشعاع. تم اختبار إمكان تصنيع العناصر فوق الثقيلة في الحال نتيجة للنجاح الذي أصابه تصنيع البلوتونيوم وعناصر صناعية أخرى.

وفي هذا السياق، بذلت جهود وعملت حسابات للتنبؤ بالخواص الكيميائية للعناصر فوق الثقيلة، حتى يمكن اختبار الصخور المناسبة وعمل مخططات فصلها. وقد طُورِت تقنيات لفصل وتنقية عناصر عمرها أجزاء من الألف من الثانية. وصُنعت النماذج للتنبؤ ببعض الخواص الإجمالية مثل الأنتروبيا من عينات لا تزيد على 500 ذرة، كذلك تم التنبؤ بالترتيب الإلكتروني للحالة المستقرة، وحالات التأكيد، وطاقات التأين، ونصف القطر الفلزي، ونصف القطر الأيوني، والكثافة، ودرجة الانصهار، ودرجة الغليان. وقد توصلوا إلى أن العناصر ما بعد الزئبق وما بعد الرصاص عناصر خاملة (نبيلة) على شكل سوائل متطايرة أو غازات.

وقد طبقت المعالجة النسبية لديراك على ميكانيكا الكم للعناصر فوق الثقيلة، مما أدى إلى الاكتشاف غير المتوقع عن انجذاب البوزيترونات للأنوية الثقيلة، مع أنها (أي البوزيترونات) لها الشحنة الموجبة نفسها. ويعني ذلك أن العناصر فوق الثقيلة يمكن أن يكون لها طيف بوزيتروني وطيف إلكتروني، الأمر الذي قد يفتح الباب لسلوك كيميائي غير عادي. استخدم نوع الحسابات المطبق في ميكانيكا الكم للتنبؤ بمستويات طاقة الإلكترونات وذلك للتنبؤ بمستويات طاقة النيوترونات والبروتونات. ومن هذه المستويات حُسبَت أطياف أشعة جاما وأشعة X التي تعتبر بمنزلة بصمة أو توقيع العناصر الجديدة. كما تم كذلك حساب توزيع نواتج

انشطارها، وهي خاصية أخرى بمنزلة التوقيع.

ومع أن معظم المظاهر الطبيعية التي كان يُظن أن أصلها يرجع إلى العناصر فوق الثقيلة قد اتضح أنها نتيجة أمور وأحداث أخرى مثل الغبار الذري المتساقط من الاختبارات النووية التي تجري فوق سطح الأرض، إلا أن التساؤل حول إمكان إنتاج هذه العناصر صناعيا بقذف الأهداف بأنوية ثقيلة، ما زال مستمرا[31].

أظهرت الحسابات أن الفجوة بين آخر العناصر المستقرة في الجدول الدوري وجزيرة الاستقرار قد لا تكون كبيرة كما كان يظن في البداية، وقد يكون هناك مرتفع رملي (سلسلة) من العناصر التي تتمتع بعمر يمكن قياسه، تؤدي إلى الجزيرة السحرية. وقد يعني ذلك أنه قد لا نضطر للقفز فوق الفجوة، وأن العناصر فوق الثقيلة قد تتكون خطوة خطوة بإضافة نيوترون كل مرة على طول المرتفع الرملي المؤدي إلى الجزيرة السحرية. ويمنحنا المرتفع الرملي الأمل في أنه حتى لو اتضح أن عمر العناصر فوق الثقيلة كان أقصر من عمر الأرض، فإن إنتاجها في الطبيعة، في ظل ظروف غير عادية مثل مجال جاذبية الثقوب السوداء بالقرب من النجوم المشعة للنيوترونات أو في جوف الأرض، أمر غير مستبعد.

وهكذا، قد يحدث في بعض الأيام أن يكتشف بعض الكيميائيين مكونا خاصا متميزا في إحدى الخامات الجديدة، أو في شظية من نيزك قادم من نجم يموت. ستوقد عندئذ النيران، وترتفع عليها القدور التي تغلي. وسينحني الكيميائيون فوق كؤوسهم بالأحماض والزيوت ليذيبوا ويغلوا ويقطروا ويبخروا...

ومن يدري أي روح ستسمو - أو أي بهيمة ستزحف - خارجة من هذه المراجل المخمرة؟

ببليوجرافيا

الفصل الأول:

1 Christopher B. Srtinger. Scientific American (Des. 1990), p.98. Keith Stewart Thomson, American Scientist (Nov.-Dec. 1992). P519 Luigi Luca Cavilli-Sforza, Scientific American (Nov.1991), p.104. James Shreeve, Discover Magazine (Aug.1990), p.52, James shreeve, Discover Magazine (sept.1992), p.76. Allan C. Wilson and Rebecca I., Cann, Scientific American (Apr.1992) p.66. Christopher B. Stringer, Scientific American (Dec. 1990), p.98.

2 Lared Diamond, Discover Magazine (May 1989), p.50. Machael Szpir. American Scientist (July-Aug. 1993) p.36.

3 Edward Mcnall Burns, Western Civilization: Their History and Their Culture, 8th ed. (Norton, New York, 1973), Copyright W.W.Norton.

4 Leonard John Goldwater, Mercuy: A History of Quicksilver (York, Baltimore, 1972), p.73.

5 J.M. Roberts, The Penguin History of the World (Penguin, New York, 1990).

6 Mary Evira Weeks and Henry M. Leicester, Discovery of the Elements, 7th ed. (Journal of Chemical Education, Austin, TX, 1968).

7 Ibid.

8. Ibid.

9 Tomas Bass, Discover Magazine (Dec. 1991), p.63.

10 Will Durant, Our Oriental Hertage (Simon and Schuster, New York, 1963), p.104.

11 H.W.F. Saggs, The Greatness That Was Babylon (Hawthorn, New York, 1962).

12 Martin Levey, Chemistry and Chemical Technology in Acient Mesopotamia (Elsevier, New York, 1959).

13 Samuel Noah Kramer, The Sumerians - Their History, culture, and Character (University of Chicago Press, Chicago, 1963), pp. 96-97. Copyright 1963, University of Chigcago Press.

14 A. Leo Oppenhein, Ancient Mesopotamia-Portrait of a Dead Civilization (University of Chicago Press, Chicago, 1964), p.293.

15 Martin Levey. Chemistry and Chemical Technoloy in Ancient Mesopotamia (Elsevier, New York, 1959), p.108.

16 William S. Ellis, National Geographic 184 (Dec. 1993), p37.

17 J.M.Roberts The Penguin History of the World (Penguin, New York, 1990), p.109.

18 Ruth Whitehouse and John Wilkins, The Making of Civilization: History Dicovered Through Archaeology (Knopf, New York, 1988), p.23.

19. Stephen W. Hawking, Black Holes & Baby Universes & Other Essays (Bantam, New York, 1993).
20 Dictionary o Scientific Biography, vol.1, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p.149.
22 Henry M. Leicester, The Historical Background of Chemistry (Dover, New York, 1956), p.25.
22 This statement may or may not have originated with Aristode, it is also accredited to Spinoza, and it is used as a proverb of unknown origin. It does however adequately summarize Aristotle's thinking on the matter.

الفصل الثاني:

1 Henry M. Leicester, The Historical Background of Chemistry (Dover, New York. 1956), p.39.
2 Mary Elvira Weeks and Henry M. Leicester, Discovery of the Elements, 7th ed. (Journal of Chemical Education, Austin, TX, 1968), pp.23-24.
3 Henry M. Leicester, The Historical Background of Chemistry (Dover, New York, 1956), p.39.
4 J.R. Partington, A Sbort History of Chemistry, 3rd ed. (Macmillan, New York, 1957), p.16.
5 John, Maxson Stillmam, The Story of Alchemy and Early Chemistry (Dover, New York, 1960), p. 22.
6 Henry M. Leicester, The Historical Background of Chemistry (Dover, New York, 1956), pp.44-45.
7 Stephen F. Mason, A History of the Sciences (Collier, New York, 1962), pp.66-67.
8 Ibid.
9 F. Sherwood Taylor, The Alchemists (collier, New York, 1962), p.31.
10 John Maxson Stillman, The Story of Alchemy and Eary Chemistry (Dover, New York, 1960), pp.162-65.
11 Ibid., pp. 163-65.
12 Timothy Taylor, Scientific American (Mar. 1992), p. 84.
13 Mary Elvira Weeks and Henry M. Leicester, Discovery of the Elements, 7th ed. (Journal of Chemical Education, Austin, TX, 1968), p.10.
14 Ibid.
15 Joseph Needham Science and Civilization in China, vol.5, part 2 (Cambridge University Press, New York, 1983), pp. 294-304.
16 Edwin O. Reishchaver and John K. Fairbank, A History of East Asian Civilization, vol.1 (Houghton Mifflin, Boston, 1960), pp138-39. Copyright © 1960 by Houghton Mifflin Company.
17 Joseph Needham, Science and Civilization in China, vol. 5, part 3, (Cambridge, University Press, New York, 1983), pp 66-67. Reprinted with the permission of Cambridge University Press.
18 Ibid., pp.38-42. 169-71.
19 Ibid, p. 104.
20 Praphulla Chandra Ray, A History of Hindu Chemistry from Earliest Times to the Middle of the

Sixteenth Century, A.D. (Bengal Chemical and Pharmaceutical Works, Calcuta, 1903).
21 Praphulla Chandra Ray, History of Chemistry in Ancient and Medieval India (Indian Chemical Society, Calcuta, 1956).
22 Narendra Nath Kalia, From Sexism to Equality (New India Publications, New Delhi, 1986).
23 Joseph Needham, Science and Civilisation in China, vol.5, part 3 (Cambridge University Press, New York, 1983), p.104.
24 Ibid, p.162.

الفصل الثالث:

1 Kenneth Bailey The Elder Pliny's Chapters on Chemical Subjects, part 2 (Edward Arnold, London. 1932)p. 101.
2 Ibid.
3 Richard Olson, Sicnece Deified and Sicnec Defied: The Historical significance of Science in Western Culture (University of California Press, Berkeley, 1982), p.160. Copyright 1982, The Regents of the University of California.
4 Ibid., p.162.
5 Ibid., p.160.
6 Saul Bellow, Discover Magazine (Dec. 1987), p.76.
7 Henry M. Leicester, The Historical Background of Chemistry (Dover, New York, 1956), p.66.
8 Ibid., pp. 68-69.

الفصل الرابع:

1 Theophilus, On Divers Arts, John G. Hawthorne and Cyril Stanley Smith, translators (Dover, New York, 1979), pp.40-41.
2 Eric John Holmyard, Makers of Chemistry (Oxford at the Clarendon Press, 1931), p. 86.
3 Morris Kline, Mathematics for the Nonmathematician (Dover, New York, 1985).
4 Edward McNall Burns, Western Civilization, Their Histroy and Their Culture, 8th ed. (Nortnon, New York, 1973), p.332 Coyright W.W.Norton.
5 Leonard John Goldwater, Mercury: A History of Quicksilver (York, Baltimore, 1972), p.92.
6 J.R. Partington, A History of Greek Fire and Cunpowder, (W. Heffer, Cambridge, U.K. 1960) p.82.
7 Ibid., p.83.
8 Dictionary of Scientific Biography, vol 1, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976). p.100.
9 Eric John Holmyard, Makers of Chemistry (Oxford at the Clarendon Press, New York 1962), p.91.
10 J.R. Partington, A History of Greek Fire and Gunpowder (W.Heffer, Cambridge, 1960), p.65.

11 Stephen F. Mason, A History of the Sciences (Collier, New York, 1962), p.115.
12 Eric John Holmyard, Makers of Chemistry (Oxford at the Clarendon Press, 1931), p.96.
13 Ibid., p.97.
14 F.Sherwood Taylor, The Alchemists (Collier, New York, 1962), p.84.
15 Henry M. Leicester, The Historical Background of Chemistry (Dover, New York, 1956) p.78.
16 J.R. Partington, A History of Greek Fire and Gunpowder (W.Heffer, Cambridge, U.K., 1960), p.74.
17 Ibid., p.74.
18 Ibid., p.66.
19 Ibid., p.69.
20 Assuming, we imagine, an alphabet that does not yet contain w or j. The Latin language was in a state of evolution-j was just a fancy way of writing i and not a separate letter until the 1600s-and the author of the cryptogram may not have used w.
21 Eric John Holmyard, Makers of Chemistry (Oxford at the Clarendon Press, 1931), pp. 103-4.

الفصل الخامس:

Praphulla Clandra Ray, A History of Hindu Chemistry from Earlist Times to the Middle of the Sixteenth Century. A.D. (Bengal Chemical and Pharmaceutical Works, Calcutta, 1903), pp.115-117.
2 A History of Women in the West, III Renaissance and Enligbtenment Paradoxes, Natalie Zemon Davis and Arlette Farge, eds. (Harvard University Press, Cambridge, MA, 1993), p.449, John Mann, Magic, Murder and Medicine, (Oxford University Press, New York, 1994); Evelyn Reed, Woman's Evolution from Matriarchal Clan to Partiarchal Family (Pathfinder, New York, 1975); Rosalind Miles, The Women's History of the World, (Harper & Row, New York, 1989), p.110.
3 Leonard John Goldwater, Mercury: A History of Quicksilver (York, Baltimore, 1972), p.21.
4 Richard Olson, Science Deified and Science Defied: The Historical Significance of Science in Western Culture (University of California Press, Berkeley, 1982), p.210. Copyright (c) 1982 The Regents of the University California.
5 John Maxson Stillman, Theophrastus Bombastus, Von Hobenbeim Called Paracelsus. His Personality and Influence As Physician, Chemist, and Reformer, (Open Court, Chicago, 1920).
6 Eric John Holmyard, Makers of Chemistry (Oxford at the Clarendon Press, 1931), pp.111-12.
7 Jared Dianmond, Discover Magazine (Oct. 1992), p64. On the other hand syphilis may have existed in Europe as far back as the early Greek civilization, but it may have been misdiagnosed as leprosy, see Rick Gone, National Geographic (Nov. 1994), p.2.
8 Will Durant, Our Oriental Hertiage (Simon and Schuster, New York, 1963), p.350-31.
9 John Maxon Stillman, Theophrastus Bohastus Von Hobenbiem Called Paracelsus: His Personality and Influence As Physician, Chemist, and Reformer (Open Court, Chicago, 1920).

الفصل السادس:

1 Henry Hobhouse, seeds of Change, Five Plants That Transormed Mankind (HarperCollins, New York 1987), p.14. Copyright 1985, 1986 by HenryHobhouse.

2 Described as a man with "red hair and all together more children than a bachelor should have" See Joseph Bronowski, The Ascent of Man (Little, Brown, Boston, 1973), p.200. It may be that Galileo should be identified more strongly than Descartes with the transition from impressionistic thinking to true scientific thought due to his objective observations of nature, scrutiny of conclusions, and insistence on experimental verfication. However, Descartes in France was a more effective spokesperson: Galileo was inhibited by his proximity to the Vatican.

3 Dictionary of Scientific Biorgraphy, vol. 6 Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p.254.

4 J.R. Partington, A Short History of Chemistry, 3d ed. (Macmillan, New York , 1957), p.46.

5 Ibid, pp. 44-45.

6 Dictionary of Scientific Biography, vol.6 Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's. New York, 1976), p.254.

7 J.R. Partington, A Short History of Chemistry, 3d ed. (Macmillan, New York, 1957), pp.72-73.

8 Ibid, p.70.

9 E.N. da C. Andrade, Nature 136 (1935), p.358.

10 Lloyd Motz and Jefferson Hane Weaver, The Story of Physics (Plenum, New York, 1999), p.76.

11 Eric John Holmyard, Makers of Chemistry (Oxford at the Clarendon Press, New York, 1962), p.152.

12 J.R. Partington, A Short History of Chemistry, 3d ed. (Macmillan, New York, 1957), p.84.

13 Eric John Holmyard, Makers of Chemistry (Oxford at the Clarendon Press, New York, 1962), p.146.

14 Bernard Jaffe, Crucibles: The Story of Chemistry from Ancient Alchemy to Nuclear Fission, 4th, ed. (Dover, New York, 1976), p.29.

الفصل السابع:

1 R.R. Palmer and Joel Colton, A History of the Modern World, 6th ed. (Knopf, New York, 1984). p.332.

2 Ibid, p.330.

3 Dictionary of Scientific Biography, vol. 12, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's. New York 1976), p.145.

4 Bernard Jaffe, Crucibles: The Story of Chemistry from Ancient Alcbemy to Nuclear-Fission, 4th ed.

(Dover, New York, 1976). p.40.
5 Aaron J. Ihde, The Development of Modern Chemistry (Harper & Row, New York, 1964), pp.40-50.
6 J.R. Partington, A Short History of Chemistry. 3d ed. (Macmillan, New York, 1957), p.118.
7 A Century of Chemistry, the Role of Chemists and the American Chemical Society, Kenneth M. Reese, ed. (American Chemical Society, Washington, D.C.1976).
8 Bernard Jaffe, Crucibles: The Story of Chemistry from Ancient Alchemy to Nuclear Fission, 4th ed. (Dover, New York, 1976), p.58. This name person, Jean-Francois Pilatre de Rozier, was the first to attempt flight in a hydrogen balloon using hot air to control height; he was killed when the balloon caught fire. See Henry Monmouth smith, Torcbbearers of Chemistry (Academic, New York, 1949), p.221.
9 Dictionary of Scientific Biography, vol.8, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p.469.

الفصل الثامن:

1 Aaron J. Ihed, The Development of Modern Chemistry (Harper & Row, New York, 1964), p.61.
2 Dictionary of Scientific Biography, vol.8, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York. 1976), p.75.
3 Aaron J. Ihde, The Development of Modern Chemistry (Harper & Row, New York, 1964), p.64.
4 Ibid., p.68.
5 Ibid., p.61.
6 Dictionary of Scientific Biography, vol. 8, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p.82.
7 Eric John Holmyard, Makers of Chemisry (Oxford at the Clarendon Press, 1931), p.212.
8 W.A. Smeaton, Fourcory, Chemist and Revolutionary (1755-1809) (University College, London, 1962), p.58.

الفصل التاسع:

1 Aaron J. Ihde, The Development of Modern Chemistry (Harper & Row, New York, 1964), p.100.
2 J.R. Partington, A Short History of Chemistry, 3d ed. (Macmillan, New York, 1957), p.171.
3 Stephen F. Mason, A History of the Sciences (Collier, New York, 1962), p. 475.
4 Dictionary of Scientific Biography, vol.14, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's. New York, 1976), p.69.
5 Ibid., p.77.
6 Ibid., p.68.
7 Ibid.

8 J.R. Partington, A Short History of Chemistry, 3d ed. (Macmillan, New York, 1957), p. 198.
9 Mary Elvira Weeks and Henry M. Leicester, Discovery of the Elements, 7th ed. (Journal of Chemical Education, Austin, TX, 1968), p.315.

الفصل العاشر:

1 Lennard Bickel, The Deadly Element, the Story of Uranium (Stein and Day, New York, 1979), p.21.
2 All these stories and more can be found in Mary Elvira Weeks and Henry M. Leicester, Discovery of the Elements, 7th ed. (Journal of Chemical Education, Austin, TX, 1968). Also see A.M. White and H.B. Friedman, J.Chem. Ed., 9, (1932), p. 238.
3 Sir Harold Hartley, Humpbry Davy (Nelson, London, 1966), p.31.
4 Anne Terneer, Mercurial Chemist: A Life of Sir Humpbry Davy, (Methuen, London, 1963), p.37.
5 Ibid.
6 Ibid., p. 41.
7 Stephen F. Mason, A History of the Sicences, (Collier, New York, 1962), p.441.
8 Colin A Russell, Sir Humphry Davy (Open University Press, Buckingham, England 1972), p.70.
9 Dictionary of Scientific Biography, vol.14, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p.79.
10 Joan Solomon, Structure of Matter: The Groutb of Man's Ideas on the Nature of Matter (David and Charles, Newton Abbot, England, 1973), p.71.
11 Anne Terneer, Mercurial Chemist: A Life of Sir Humphry Davy (Methuen, London 1963), p.98.
12 K.M. Reese, Chem. Eng. News (Aprt. 19, 1993), p.56.
13 Ibid.
14 K.M. Reese, Chem, Eng. News (May 3, 1993), p.64.
15 Women in Chemistry and Physics: A Biobibliographic Sourcebook, Louise s. Grinstein, Rose K. Rose, and Miriam H. Rafailovich, eds. (Greenwood Press, Westport, CT, 1993), p.371.
16 L. Pearce Williams, Michael Faraday (Da Capo, New York, 1965), p.28.
17 Ibid., p.44.
18 Ibid.
19 Sidney Ross, Nineteenth-Century Attitudes: Men of Science (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 1991), pp. 150-58. Reprinted by permission of Kluwer Academic Publishers.
20 Ibid.
21 Colin A. Russell, Sir Humphry Davy (Open University Press, Buckingham, England, 1972), 70.
22 Anne Treneer, Mercurial Chemist: A Life of Sir Humphry Davy (Methuen, London, 1963), p.219.
23 Dictionary of Scientific Biography, vol. 5 Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p.322.
24 F.A. Miller, J. Chem. Ed. 63 (1986), p.685.

الفصل الحادي عشر:

1 Walter J. Moore, Physical Chemistry, 4th ed. (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1972), p.119.
2 Bernard Jaffe, Crucibles: The Story of Chemistry from Ancient Alcbemy to Nuclear Fission, 4th ed. (Dover, New York, 1976), p.76.
3 D.S.L. Cardwell, From Watt to Claustius, the Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age (Heinemann, London, 1971), p.80.
4 Walter J. Moore, Physical Chemistry, 4th ed. (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1972), p.40.
5 Dictionary of Scientific Biography, vol.7, Charles Coulson Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p.382.
6 Joseph H. Noggle, Physical Chemistry, 2d ed. (Scott, Foresman, Boston, 1989), p.129.
7 Dictionary of Scientific Biography, vol.14, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p.185.
8 Ibid., vol. 16, p, 186.
9 Ibid., vol.2, p.267.
10 Vivian Ovelton Sammons, Blacks in Science and Medicine (Hemisphere, New York, 1990), p.32.
11 Lynde Phelps Wheeler, Josiab Willard Gibbs, the History of a Great Mind, rev. ed., (Yale University Press, New Haven, CT, 1952), p.181.
12 G.N.Lewis and Merle Randall, Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances (McGraw-Hill, New York, 1923), p.26.
13 Dictionary of Scientific Biography, vol.15, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), supplement 1, p.463.

الفصل الثاني عشر:

1 Norman L. Allinger, Michael P. Cava Don C. De Jongh, Carl & Johnson, Norman A. Lebel, and Calvin L, Stevens, Organic Chemistry, 2d ed. (Worth, New York), 1976.
2 Bernard Jaffe, Crucibles: The Story of Chemistry from Ancient Alcbemy to Nuclear Fission, 4th ed. (Dover, New York, 1976), p.138.
3 Dictionary of Scientific Biography, vol.14, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p.474.
4 Alan J. Rocke, Quiet Revolution, Hermann Kolbe and the Science of Organic Chemistry (University of California Press, Berkeley, 1993).
5 Reprinted with permission from O.Theodor Benfey, From Vital Force to Structural Formulas (American Chemical Society, Washington, D.C., 1975), p.46. Copyright 1975 American Chemical Society.
6 Ibid.
7 Ibid. p.40.

8 Aaron J.Ibde, Development of Modern Chemistry (Harper Row, New York, 1964), p.196.
9 C.A. Russell, The History of Valency (Leicester University Press, Leicester, UK 1971), pp.39-40.
10 Leonard Dobbin, J.Chem. Ed. 11 (1934), p.335.
11 Reprinted with permission from O. Theodor Benfey, From Vital Force to Structural Formulas (American Chemical Society, Washington, D.C., 1975), pp.76-77. Copyright 1975 American Chemical Society.
12 Ibid., p.102.
13 Ibid., p.107.
14 Ibid., p.107.
15 Emmett Reid, My First Hundred Years (Chemical Publishing Co., New York, 1972), p. 60.
16 Frederick H. Getman, The Life of Ira Remsen (Journal of Chemical Education, Easton, PA, 1940), p.9.
17 Dean Stanley Tarbell and Ann Tracy Tarbell, Essays on the History of Organic Chemistry in the United Staes, 1875-1955 (Folio Publishers, Nashville, TN, 1986), p.43.

الفصل الثالث عشر:

1 Mary Elvira Weeks and Henry M. Leicester, Discovery of the Elements, 7th ed. (Journal of Chemical Education, Austin, TX, 1968), p.662.
2 Dictionary of Scientific Biography, vol. 11, Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p.279.
3 Bernard Jaffe, Crucibles: The Story of Chemistry from Ancient Alchemy to Nuclear Fission, 4th ed. (Dover, New York, 1976), pp. 159-60.
4 Radon has received some publicity because of relatively high concentrations found in some homes built on soils or near rocks rich in uranium. This is not considered a major source of radiation exposure however because homes can be tested and the problem controlled by proper ventilation because radon is a gas.
5 Emmett Reid, My First Hundred Years (Chemical Publishing Co., New York, 1972), p.56.
6 Eve Curie, Madame Curie, translated by Vincent Seean, (Doubleday Doran, New York, 1937), p.154.
7 Ibid, p.154.
8 Ibid., 172.
9 Mary Elvira Weeks and Henry M. Leicester, Discovery of the Elements, 7th ed. (Journal of Chemical Education, Austin, TX, 1968), p.810.
10 Eve Curie, Madame Curie, translated by Vincent Seean (Doubleday Doran, New York, 1937), p.278.
11 Emilio Segre, From X-Rays to Quarks-Modern Physicists and Their Discoveries (Freeman, San Francisco, 1980), p.44.

12 Lernard Bickel, The Deadly Element, The Story of Uranium (Stein and Day, New York, 1979), p.30.

13 Bernard Jaffe, Crucibles: The Story of Chemistry from Ancient Alchemy to Nuclear Fission, 4th ed. (Dover, New York, 1976), p.211.

14 Ibid., p.169.

15 George B. Kauffman, Alfred Werner, Founder of Coordination Chemistry (Springer-Verlag, New York, 1966).

16 Ibid., p.52.

17 Ibid., 47.

الفصل الرابع عشر:

1 Henry Hobhouse, Seeds of Change, Five Plants That Transformed Mankind (HarperCollins, 1987), pp.12-13.

2 George B. Kauffman and Paul M. Priebe, J. Chem. Ed. 66 (1989), 397.

3 Fred Aftalion, A History of the Inernational Chemical Industry (University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 1991), p.95.

4 Gerald Weissmann, Scientific American (Jan. 1991), p.84.

5 Eldon J. Gardner, History of Biology, 3d ed. (Burgress, Minneapolis, 1972), pp. 169-76.

6 Joseph Needham, ed. The Chemistry of Life Eight Lectures on the History of Biochemistry (Cambridge at the University Press, Cambridge, England, 1970), p.39.

7 Ibid., p. 48.

8 Gerald Weissmann, Scientific American (Jan, 1991), p.84.

9 Colin A. Russell with Noel G. Coley and Gerrylynn K. Roberts, chemists by Profession, The Origins and Rise of the Royal Institute of Chemistry (Open University Press, Milton Keynes, England, 1977), p.103.

10 G. Kass-Simon and Patrica Farnes, ed., Women of Science - Righting the Record (Indiana University Press, Bloomington, IN, 1990), p.152.

11 Nicholas Halasz, Nobel, A Biography (Orion Press, New York, 1959), p.111.

12 Ibid., p.114.

13 George W. Gray, Scientific American (Dec. 1949), p11.

14 Ibid., p. 12.

15 Ibid., p.13.

16 Ibid.

17 Max F. Perutz, Is Science Necessary? Essays on Science and Scientists (Barrie and Jenkins, London, 1989), p.184.

18 Sterling seagrave, Yellow Rain (Evans, New York, 1981), p.42. From Yellow Rain ©1981 by

Sterling Seagrave. Reprinted by permission of the publisher, M. Evans and Company, Inc.
19 Ibid., p.43.

الفصل الخامس عشر:

1 Personal Communication, Dr. David Karraker.
2 Emilio Segre, From X-Rays to Quarks-Modern Physicists and Their Discoveries (Freeman, San Francisco, 1980), p.76.
3 Armin Hermann, The Genesis of Quantum Teory, translated by Claude W. Nash (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1971), p.15.
4 Max Jammer, The Conceptual Development of Quantum Mecbanics (McGraw-Hill, New York, 1966), p.77.
5 Ibid., p.136.
6 Dictionary of Scientific Biography, vol. 10 Charles Coulston Gillispie, ed. (Scribner's, New York, 1976), p. 423.
7 Emilio Segre, From X-Rays to Quarks-Modern Physicists and Their Discoveries (Freeman, San Francisco, 1890), p.152.
8 Max Jammer, The Conceptual Development of Quantum Mechanics (McGraw-Hill, New York, 1966) p.258.
9 David C. Cassidy, Scientific American (May 1992), p.106.
10 Ibid., p. 109.
11 David Z. Albert, Scientific American (May 1994), p.58.
12 Reprinted with permission from Nobel Laureates in Chemistry, 1901-1992, Laylin K. James, ed. (American Chemical Society, Chemical Heritage Foundation, Washington D.C., 1993), p. 472. Copyright 1993 American Chemical Society.
13 Linus Pauling, The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals: An Introduction to Modern Structural Chemistry, 3d ed. (Cornell University Press, Ithaca, New York, 1960), p. 387.
14 Adated from an analogy suggested by Professor Marshal Cronyn, Reed College, Portland, Oregon.
15 Reprinted with permission from Nobel Laureates in Chemistry, 1901-1992, Laylin K. James, ed. (American Chemical Society, Chemical Heritage Foundation, Washington, D.C., 1993), p.368. Copyright 1993 American Chemical Society.
16. Ibid., p.471.
17. Ibid., p.474.
18. Walter J. Moore, Physical Chemistry, 4th ed. (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1972), p.688.
19 Paul G. Hewitt, Conceptual Physics, 7th ed. (HarpeeerCollins, New York, 1993), p. 591.

20 James L Stokesbury, A Short History of WWII (William Morrow, New York, 1980), p.377.

الفصل السادس عشر:

1 peter J.T. Morris, Polymer Pioneers, A Popular History of the Science and Technology of Large Molecules (Beckman Center for the History of Chemistry, publication no.5 Philadephia, Pennsylvania, 1986).

2 Royston M. Roberts, Serendipity, Accidental Discoveries in science, (Wiley, New York, 1989), p. 175.

3 Reprinted with permission from Nobel Laureates in Chemistry, 1901-92, Laylin K. James, ed. (American Chemical Society, Chemial Heritage Foundation, Washington, D.C., 1993). Copyright 1993, American Chemical Society.

4 J.D. Watson and F.H.C. Crick, Nature 171 (1953), p.737. Reprinted with permision from Nature copyright 1953, Macmillan Magazine Limited.

6 Wilkins and Franklin/Gosling have their papers immediately following. M.H.F, Wilkins, Nature 171, (1953), p.738 and Rosalind E. Franklin and R.G. Gosling, Nature 171 (1953), p.740.

7 Anne Sayre, Rosalind Franklin and DNA (Norton, New York, 1975), p.151. Copyright 1975 by Anne Sayre.

9 Ibid., p.104.

10 Ibid., p.105.

11 James D. Watson, The Double Helix-A Personal Acount of the Discovery of the Structure of DNA (Atheneum, New York, 1968), pp. 75-76. Copyright 1968, James D. Watson.

12 Ibid, pp. 167-69.

13 James D. Watson, The Double Helix-A Personal Acount of the Discovery of the Structure of DNA (Atheneum, New York 1968), p.20. Copyright 1968, James D. Watson.

14 Joseph S. Fruton, A Skeptical Biochemist (Harvard University Press, Cambridge, MA, 1992), p.224.

15 Andre Lwoff, Scientific American (July 1968), p.133.

16 Personal communication from Dr. Clarence M. Cobb.

17 Robert Olby, The Path to the Double Helix (University of Washington Press, Seattle, 1974), p.362.

18 Merriley Borell, Album of Science: The Biological Sciences in the Twentieth Century (Scribner's, New York, 1989), p.181.

الفصل السابع عشر:

1 For an interesting account of the development of Beckman Instruments from a store-front enterprise to a multimillion-dollar industry, see Beckman Instruments, Inc: "There is no satisfactory substitute for excellence," an address by Dr. Arnold O. Beckman to the Newcomen Society (Newcomen Society in

North America, New York, 1976).

2 Peter Hayes, Industry and Ideology, I.G. Farben in the Nazi Era (Cambridge University Press, Cambridge, 1987).

3 Great Chemists, Eduard Farber, ed. (Interscience, New York, 1961), pp.1439-40.

4 Ron Dagani, Chem. Eng. News (May 23, 1994), p.39.

5 For an interesting discussion of the war effort that includes an investigation into incendiaries and the feasibility of using bats to carry bombs, see Louis F. Fieser, The Scientific Method: A Personal Account of Unusual Projects in War and in Peace (Reinhold, New York, 1964).

6 Ron Dagani, Chem. Eng. New (May 23, 1994), p.40.

7 Anne Sayre, Rosalind Franklin and DNA (Norton, New York, 1975), p.138. Copyright 1975 by Anne Sayre.

8 Women in Chemistry and Physics: a Biobibliographic sourcebook, Louise S, Grinstein, Rose K. Rose, and Miriam H. Rafailovich, eds. (Greenwood Press, Westport, CT, 1993), P.333.

9 Reprinted with permission from Nobel Laureates in Chemistry, 1901-1992, Laylin K. James, ed. (American Chemical Society, Chemical Heritage Foundation, Washington, D.C., 1993), p.306. Copyright 1993, American Chemical Society.

10 Ibid., p.307.

11 William L. Jorgensen and Lionel Salem, The Organic Chemists Book of Orbitals (Academic, New York, 1973). This book is dedicated to the people of Vietman, and it opens with the statement, “Science sans conscience n’est que ruine de l’ame.”

12 Reprinted with permission from Nobel Laureates in Chemistry, 1901-1992, Laylin K. James, ed. (American Chemical Society, Chemical Heritage Foundation Washington, D.C., 1993), p.466. Copyright 1993, American Chemical Society.

13 Royston M. Roberts, Serendipity-Accidental Discoveries in Science (Willey, New York, 1989), pp.241-42.

14 Reprinted with permission from Nobel Laureates in Chemistry, 1901-1992, Laylin K. James, ed. (American Chemical Society, Chemical Heritage Foundation, Washington, D.C.1993), p.561. Copyright 1993, American Chemical Society.

15 James E. Huheey, Ellen A. Keiter, and Richard L.Keiter, Inorganic Chemistry: Principles of Structure and Reactivity,4th ed. (HarperCollins, New York, 1993), p.813.

الفصل الثامن عشر:

1 Walter J.Moore, Physical Chemistry (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1972), p.324.

2 Chem. Eng. News Feb. 26, 1951) p. 763.

3 Women in Chemistry and Physics: A Biobibliographic Sourcebook, Louise S. Grinstein, Rose K.

Rose, and Miriam H. Rafailovich, eds. (Greenwood Press, Westport, CN, 1993), p.502.

4 Ibid., p.503.

5 Ibid.

6 Ibid.

7 Ibid., p. 504.

8 Keith J. Laidler, Chemical Kinetics, 3d ed. (Harper Collins, New York, 1987), p.496.

9 G.K. Vemulapalli, Physical Chemistry (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993).

10 See W.M. Kaushik, Zhi Yuan, and Richard M. Noyes, J. Chem. Ed. 63 (1986). p.76; and Lee R. Summerlin and James L. Ealy, Jr., Chemical Demonstrations, A Sourcebook for Teachers (American Chemical Society, Washington, D.C., 1985), pp.81-83.

11 Reprinted with permission from Nobel Laureates in Chemistry. 1901-1992, Laylin K. James, ed. (American Chemical Society, Chemical Heritage Foundation, Washington, D.C., 1993), p.504, Copyright 1993, American Chemical Society.

12 Ibid.

13 Ilya Prigogine, Order out of Chaos, Man's New Dialogue with Nature (Bantam, New York, 1984).

الفصل التاسع عشر:

1 Emilio Segre, From X-Rays to Quarks-Modern Physicists and Their Discoveries (Freeman, San Francisco, 1980), p.182. Copyright 1980 by Emilio Segre, Used with permission of W.H. Freeman and Company.

2 Leonard Bickel, The Deadly Element, The Story of Uranium (Stein and Day, New York, 1979), p.60.

3 Emilio Segre, From X-Rays to Quarks-Modern Physicists and Their Discoveries (Freeman, San Francisco, 1980), p.183.

4 bid., pp.183-184.

5 Lennard Bickel, The Deadly Element, The Story of Uranium (Stein and Day, New York, 1979), p.66.

6 Emilio Segre, From X-Rays to Quarks-Modern Physicists and Their Discoveries (Freeman, San Francisco, 1980), p.199.

7 Emilio Segre later worked in United States. He was codiscoverer of technetium, and he worked with Seaborg on plutonium. He won the Nobel Prize in 1959 for creating antiproton.

8 Edoardo Amaldi was a chemist who opted to stay in Italy when others left.

9 There were many other workers involved in the project, and we regret that we can not include all the names here. See Emilio Segre, From X-Rays to Quarks-Modern Physicists and Their Discoveries (Freeman, San Francisco, 1980).

10 E. Fermi, Nature 133, 1934, p.898.

11 Emilio Segre, From X-Rays to Quarks-Modern Physicists and Their Discoveries (Freeman, San

Francisco, 1980). p.205.

12 Ruth Lewin Slime, J.Chem. Ed. 63 (1986), p.653.

13 Ruth Lewin Slime, J.Chem. Ed. 66 (1989), p.373.

14 Wbo Found the Missing Link, a video from the series The Periodic Table and the Human Element (Films for the Humanities & Sciences, Princeton, NJ, 1994.

15 Ibid.

16 Ibid.

17 Glen T. Seaborg, J. Chem. Ed. 66 (1989), p.379.

18 For a discussion of this and other interesting historical developments in actinide chemistry, see George Kauffman, Chem. Eng. News, (Nov.,19, 1990), pp.18-29.

19 Emilio Segre, From X-Rays to Quarks-Modern Physicists and Their Discoveries (Freeman, San Francisco, 1980), p.215.

20 Leonard Bickel, The Deadly Eement, the Story of Uranium (Stein and Day, New York, 1979), p.257.

21 Ibid.

22 Junko Morimoto, My Hiroshima (Pufin Books, New York, 1987). This is a well-writ-ten and well-illustrated children's book.

23 Produced by the Library of Science, 59 Fourth Ave, New York.

24 George W. Gray, Scientific American (Dec.1949), p.11.

25 For a full list of collaborators (and there were many), see Glenn T. Seaborg and Walter D. Loveland, The Elements Beyond Uranium (Wiley, New York, 1990).

26 Ibid., p. 27. Reprinted by permission; © 1950, 1978, The New Yorker Magazine, Inc.

27 łarlene Hoffmann, Chem. Eng. News (May 2, 1994), p. 24.

28 Glenn T. Seaborg and Walter D. Loveland, The Elements Beyond Uranium (Wiley, New York, 1990), p.44.

29 Ron Dagani, "Shuffling of Heavy-Element Names by IUPAC Panel Provokes Outcries," Chem. and Eng. News, December 5, 1994, p. 25; Science News, October 22, p. 271.

30 Lennard Bickel, Deadly Element, the Story of Uranium (Stein and Day, New York, 1979), p.97.

31 David Holloway, Chemtech (Feb. 1991), p. 80.

32 See Bernard L. Cohen, Before It's TooLate: A Scientist's Case for Nuclear Energy (Plenum, New York, 1983); and Max F. Pentz, Is Science Necessary: Essays on Science and Scientists (Barrie and Jenkins, London, 1989).

الفصل العشرون:

1 Jonathan I. Lunine, American Scientist 82 (1993), p. 134.

2 G.K. Vemulapalli, Physical Chemistry (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1993), p. 425.

3 There is some controversy as to whether the Green Revolution was all that good a thing. Some societies became dependent on the new technology, and they were unable to return to their previous methods when problems with the new technology were found. Just as Davy's invention of the safety lamp caused coal miners to dig deeper, more dangerous mines, the Green revolution caused some countries to expand in a manner that again (Houghton Mifflin, New York, 1987).

5 Susan Chollar, Discover Magazine (April 1990), p. 76; and Discover Magazine (Aug.1993).

6 Darleane C. Hoffman and Gregory R. Choppin, J.Chem. Ed. 63 (1986), p.1059; and Bernard L. Cohen, Scientific, American (June 1977), p.21.

7 Gary Taubes, Bad Science: The Short Life and Weird Times of Cold Fusion (Random House, New York, 1993), p.4.

8 Ibid., p. xviii.

9 Ibid., p. 124.

10 Ibid., p. 123.

11 Gary Stix, Scientific, American (Nov. 1993), p.104; and John Rennie, Scientific, American (March 1994), p.107.

12 Andreas Stein, Steven W. Keller, and Thomas E. Mallouk, Science 259 (1993), p.1558.

13 Gary Taubes, Bad Science: The Short Life and Weird Times of Cold Fusion (Random House, New York, 1993), p.165.

14 John Clarke, Scientific American (August 1994), p.46.

15 Philip Yam, Scientific American (Dec. 1993), p.118, and Philip Yam, Scientific American (Jan, 1994), p.18.

16 Alex Nickon and Ernest F. Silversmith, The Name Game, Modern Coined Terms and Their Origins (Pergamon, New York, 1987).

17 W. Kroto, J.R. Heath, S.C.O'Brien, R.F.Curl, and R.E.Smalley, Nature 318 (1985), p.162, W. Kratschmer, Lowell D. Lamb, K. Fostiropoulos, and Donald R. Huffman, Nature 354 (1990) p.283; and Science News 140 (1993), p.84.

18 Lan W. M.Smith, Nature 362 (1993), p.498, and L.Peterson, Science News (July 31, 1993), p.71.

19 Michael D. Jones and Jeffrey T. Feyerman, J. Chem. Ed. 64 (1987), p.337.

20 Charles E. Bugg. William M. Carson, and John A. Montgomery, Scientific American (Dec. 1993), p.92.

21 F.N. Spiess, Ken C. Macdonald, T. Atwater, R. Ballard, A. Carranza, D. Cordoba, C. Cox, V.M., Diaz Garcia, J. Francheteau, J. Guerrero, J. Hawkins, R. Haymon, R. Hessler, T. Juteau, M. Kastner, R. Larson, B. Luyendyk, J.D. Macdougall, S. Miller, W. Normark, J.Orcutt, and C. Rangin, Science 207 (1980), p.1421.

22 Kary B. Mullis, Scientific American (Apr.1990), p.56.

23 Ibid.

24 Ivan Arnato, Sience 262 (1993), p.506.

25 Sharon Begley, Newsweek (June 14, 1993), p. 27; Svante Paabo, Scientific American (Nov. 1993), p.86; and Philip E. Ross, Scientific American (May 1992), p.115.

26 Ruloff, Science News (Aug.6, 1986), p.71.

27 Cindy Lee Van Dover, Discover Magazine (Sept. 1993), p.37.

28 Lois R. Ember, Chem, Eng. News (Mar. 21, 1994), p.16.

29 Accounts of Chemical Research, Mar. 1995.

30 Peter Armbruster and Gottfried Munzenberg, Scientific American 260, 1989, p.66; Darleane C. Hoffman, Chem. Eng. News (May 2, 1994), p.24; S.G. Thompson and C.F.Tsang. Science 178, 1972 p. 1047, and The Chemistry of the Actinide Elements, J.J. Katz, G. Seaborg, and L.R.Morss, eds. (Chapman and Hall, New York, 1986). Figure 20.1 is adapted from Charles H. Atwood and R.K. Sheline, J. Chem. Ed. 66 (1989), p. 591.

31 Michael Freemantle, Chem. Eng. News (Mar. 13, 1995), p.35.

المؤلفان في سطور

كاتي كوب

وهارولد جولدوايت

* أمريكية وأمريكي من علماء الكيمياء العضوية.
* لهما مؤلفات منفصلة في الكيمياء العضوية التخليقية
* لهما اهتمام خاص بتاريخ وفلسفة العلوم.
* هذا الكتاب هو أول إنتاج مشترك لهما.

المترجم في سطور:

د. فتح الله الشيخ

* من مواليد البحيرة بجمهورية مصر العربية العام 1937م.
* بكالوريوس العلوم من جامعة الإسكندرية العام 1958، ودكتوراه الفلسفة من جامعة منديليف التكنولوجية بموسكو العام 1964م.
* أستاذ الكيمياء الفيزيائية بجامعات أسيوط بمصر (1979)، والفاتح بالجماهيرية الليبية (1986)، وجنوب الوادي بمصر (حتى الآن).
* مؤسس ورئيس الجمعية المصرية للكيمياء الكهربية.
* رئيس المؤتمر الدولي للكيمياء الكهربية (الأول 1996، والثاني 1999، والثالث 2001) بمدينة الأقصر.



التفضيل الجمالي

دراسة في سيكولوجية التذوق الفني

تأليف: د. شاكر عبدالحميد

* المشرف العلمي لمجلة «سطور» (ثقافية ــ عربية ـ شهرية)

* ألف وترجم عديدا من الكتب العلمية الميسرة والمقالات العلمية.

* مدير مركز دراسات الجنوب بجامعة جنوب الوادي، والمستشار العلمي لرئيس الجامعة.

* شارك في العديد من المؤتمرات والندوات العلمية.

المراجع في سطور:

شوقي جلال محمد

* مواليد القاهرة العام 1931 .

* عضو لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة ـ القاهرة.

* شارك في وضع قاموس علم النفس بالمجلس الأعلى للثقافة.

* من مؤلفاته:

نهاية الماركسية ـ سينا للنشر، التراث والتاريخ: نظرة ثانية ـ سينا للنشر، الحضارة المصرية صراع الأسطورة والتاريخ ـ دار المعارف، على طريق توماس كون: رؤية نقدية لفلسفة تاريخ العلم ـ المكتبة الأكاديمية، العقل الأمريكي يفكر: بانوراما تطور الفكر الأمريكي ـ سينا للنشر، ثقافتنا والإبداع ـ دار المعارف.

* أسهم في العديد من أوراق البحث في ندوات علمية مختلفة.

* له أكثر من ثلاثين كتابا مترجما في الإنسانيات والآداب، منها:

ـ المسيح يصلب من جديد ـ رواية بقلم ن. كازانتزاكيس.

ـ ومن ترجماته في سلسلة «عالم المعرفة» بنية الثورات العلمية، لماذا ينفرد الإنسان بالثقافة؟، الآلة قوة وسلطة، الأعداد: 168 و229 و259 على التوالي. كما راجع الترجمة لعدة كتب بالسلسلة أيضا.

هذا الكتاب

لايتناول هذا الكتاب تاريخ السيمياء والكيمياء فقط، بل تاريخ العالم بثقافاته وحضاراته من منظور سيميائي كيميائي. والسيمياء هي ممارسة الكيمياء القديمة قبل ظهور واستقرار المنهج العلمي (بعد ديكارت وبيكون). كانت السيمياء جزءا لا يتجزأ من العلوم القديمة، مارسها جميع الفلاسفة والأطباء منذ بزوغ فجر التاريخ. ركزت السيمياء صراعها الطويل على مغالبة الطبيعة في أمرين اثنين: أولهما الحصول على حجر الفلاسفة الذي يحول الفلزات الخبيثة إلى فلزات ثمينة (يحول النحاس والرصاص إلى ذهب)، وثانيهما تحضير أكسير الحياة الذي يشفي من جميع الأمراض ويهب الخلود للإنسان. ولم يحقق السيميائيون أيا من هذين الأمرين، لكنهم تركوا لنا تراثا من التقنيات مازال يطبق قسم منه حتى الآن. ويعرض الكتاب من هذا المنظور لنشوء وازدهار ثم اضمحلال الحضارات والثقافات المتنوعة على طول التاريخ وعرض الجغرافيا، من مصر القديمة إلى بلاد ما بين النهرين، ومن الهند والصين إلى فارس وروما، ثم الحضارة العربية الإسلامية الشامخة. ويتناول الكتاب تاريخ حياة العشرات من رجال (ونساء) العلم، وينتهي عند منتصف القرن العشرين بعد أن مرت الكيمياء ومعها وبها الحضارة الإنسانية بمنعطفات ودروب، وصعدت قمما وهوت إلى أخاديد من الجهل والظلمات وتغلبت على كثير من أعدائها، أعداء التنوير والعلم، لنصل إلى ما وصلنا إليه، كيمياء متطورة تعالج المرضى وترفع من غلة الأرض الزراعية وتخلِّق الأقمشة الصناعية ... وغيرها الكثير.